Economic Analysis

Research Paper Series

Assessing the Impact of Greenhouse Gas Emissions on Canada's Productivity Growth, 1981-1996: An Experimental Approach

by Tarek M. Harchaoui and Pierre Lasserre

No. 009

Statistics Canada Statistique Canada

Canada

ECONOMIC ANALYSIS RESEARCH PAPER SERIES

The Economic Analysis Research Paper Series provides for the circulation of research conducted by the staff of National Accounts and Analytical Studies, visiting Fellows and academic associates. The research paper series is meant to stimulate discussion on a range of topics including the impact of the New Economy, productivity issues, firm profitability, technology usage, the effect of financing on firm growth, depreciation functions, the use of satellite accounts, savings rates, leasing, firm dynamics, hedonic estimations, diversification patterns, investment patterns, the differences in the performance of small and large, or domestic and multinational firms, and purchasing power parity estimates. Readers of the series are encouraged to contact the authors with comments, criticisms and suggestions.

The primary distribution medium for the papers is the internet. These papers can be downloaded from the internet at www.statcan.ca for free. Papers in the series are distributed to Statistics Canada Regional Offices and provincial statistical focal points.

All papers in the Economic Analysis Series go through institutional and peer review to ensure that they conform to Statistics Canada's mandate as a government statistical agency and adhere to generally accepted standards of good professional practice.

The papers in the series often include results derived from multivariate analysis or other statistical techniques. It should be recognized that the results of these analyses are subject to uncertainty in the reported estimates.

The level of uncertainty will depend on several factors: the nature of the functional form used in the multivariate analysis; the type of econometric technique employed; the appropriateness of the statistical assumptions embedded in the model or technique; the comprehensiveness of the variables included in the analysis; and the accuracy of the data that are utilized.

Any interpretation of the results that are reported in these series should recognize that empirical analysis always involves some degree of uncertainty and readers should take this into account.

Publications Review Committee
Analytical Studies Branch, Statistics Canada
24th Floor, R.H. Coats Building
Ottawa, Ontario, K1A 0T6
Telephone: (613) 951-1804

Assessing the Impact of Greenhouse Gas Emissions on Canada's Productivity Growth, 1981-1996: An Experimental Approach

by

Tarek M. Harchaoui*
Statistic Canada
Pierre Lasserre
Université du Québec à Montréal

11F0027 No. 009
ISSN: 1703-0404
ISBN: 0-662-33032-3

Micro-Economic Analysis Division
24-B R.H. Coats Building
Ottawa, K1A 0T6
Statistics Canada
Facsimile Number: (613) 951-5403

*(613) 951-9856
Email: harctar@statcan.ca

November 1, 2002

The authors' names are listed alphabetically.

The opinions expressed herein are those of the authors and do not necessarily reflect the opinions of Statistics Canada.

The comments made by John Baldwin and participants at the 7th European Workshop on Efficiency and Productivity Analysis, (Oviedo, Spain) and at the 11th annual meeting on the Canadian resource and environmental economics, Brock University, (St.-Catharines, Ontario), are acknowledged with thanks.

Aussi disponible en français

103-00982/

Table of Contents

ABSTRACT ..... **IV**

EXECUTIVE SUMMARY ..... **V**

I. INTRODUCTION **1**

II. THE THEORETICAL FRAMEWORK **3**

1. COSTS AND SHADOW PRICES 3
2. SCALE, SCOPE, AND VARIOUS RELEVANT TECHNOLOGY PROPERTIES 4
3. MULTIFACTOR PRODUCTIVITY 5

III. ECONOMETRIC IMPLEMENTATION **6**

1. SPECIFICATION OF THE MODEL 6
2. THE DATA AND TREND ANALYSIS 8
   A) Methodology *8*
   B) Trend Analysis of the Data *10*
3. ESTIMATION 14

IV. EMPIRICAL RESULTS **15**

1. SPECIFICATION AND HYPOTHESIS TESTS 15
2. VARIOUS ESTIMATION ISSUES 19
   A) Spurious Correlation *19*
   B) The Issue of Capital Fixity *19*
3. ECONOMIC INTERPRETATION 20

V. CONCLUDING REMARKS **23**

REFERENCES **24**

Abstract

Despite the progress that has been made in the measurement of productivity, there have been few attempts to cast emissions of bad outputs within a joint-production framework. This paper does so. It proposes an experimental framework that depends critically on the shadow price estimates of emissions. These shadow price estimates result from the estimation of a cost function for each industry of the Canadian business sector. Using a detailed industry dataset that accounts for marketed output and greenhouse gases over the 1981-1996 period, our results suggest that the shadow values of greenhouse gas emissions are significantly different from zero. Our results also indicate that, under a non constant returns to scale technology, failing to account for greenhouse gas emissions understates productivity growth.

Keywords: shadow prices, greenhouse gases, productivity

Executive Summary

Productivity growth is a major source of the improvement in living standards through its positive impact on real incomes. However, the link between estimates of productivity growth and increases in real living standards cannot be accurately gauged if productivity measures do not take into account environmental effects of production. Unfortunately, estimates of productivity growth often ignore the environmental impacts of economic activity.

Ideally, estimates of productivity growth should take account of all inputs and outputs associated with a production process, including changes to the environment. In practice, productivity growth is normally estimated using techniques that only take account of inputs and outputs that are priced. Since most environmental impacts are not traded in markets, they rarely have observable prices and so tend to be ignored when estimating productivity growth.

This paper develops and applies an experimental measure of productivity growth that can incorporate environmental impacts. To do so, it estimates a shadow or implicit price of the unpriced emissions. The methodology builds on the established technique of a cost-function-based model and uses data that relate greenhouse gas emissions and industry output over the 1981-1996 period. We apply our methodology to one of the more important environmental issues facing Canada — greenhouse gas emissions, a relatively novel application.

We use our methodology to estimate partial abatement elasticities. These show the proportionate change in the private cost required to abate greenhouse gas emissions by 1 per cent, everything else held constant. Based on past relationships between costs of production and quantities of emissions, the estimated elasticities averaged -0.14, with a wide variation across industries. This reflects the fact that different industries with different technological structures have reacted differently in the past to changes to greenhouse gas emissions. An elasticity of -0.14 indicates that a 1 per cent reduction in greenhouse gas emissions requires a 0.14 per cent increase in the industry's private cost.

Greenhouse gas emissions are found to be substitutes of capital input, indicating that more capital is required to reduce greenhouse gas emissions. In contrast, energy input is a complement to greenhouse gas emissions, but the relationship between labour input and greenhouse gases is statistically not significant.

For comparison purposes, we estimated productivity growth both excluding and including greenhouse gas emissions in a non-constant returns to scale framework. Overall, our results show that ignoring greenhouse gas emissions causes the productivity growth of the Canadian business sector to be under-estimated by 21 percent on average over the 1981-1996 period.

The framework employed in this paper allows us to take into account the unpriced environmental impacts into the productivity growth estimates. The methodology provides useful insights into how estimates of productivity growth are affected by the environmental impacts of economic activity. A disadvantage is that the methodology is data intensive and technically challenging. The productivity growth estimates that the experimental approach produces depends on the shadow price of CO_2 emissions. Because it is derived from a multivariate statistical analyses, there is an inherent uncertainty in the accuracy of the shadow price. It should be recognized that the results of these analyses are therefore subject to error. The size of the error will depend on the nature of the functional forms used, the type of econometric analysis employed and the accuracy of the data that are utilized.

I. Introduction

Greenhouse gas emissions (GHG: carbon dioxide, methane, nitrous gases and chloroflurocarbons) and the prospect of global climate change has spawned a broad research program to identify, model, and determine the impact of increases on mean global temperature. There is increasing concern regarding the economic and environmental costs of the greenhouse gases effect (global warming). Various groups have called for concerted international action to reduce emissions of CO_2. In response to these calls, proposals for emissions cuts have emerged at various international conferences, notably the World Climates Conferences at Toronto (1988) and Cairo (1990).

The recognition that economic activity is contributing, through greenhouse gases, to global warming, with its attendant costs, has set in motion a substantial research effort. This has taken place primarily within the domains of climatological and physical modelling, with widespread attention being paid to the economic issues concerning climatic change only in the last decade. Early examples of economic analysis were concerned predominantly with the relative efficacy of different policy instruments for achieving given targets of emission reduction at the macroeconomic level.

A number of contributions have summarized what we have learned and what we still do not know about global warming (Panel on Policy Implications of Greenhouse Warming (1992); Cline (1992) and Nordhaus (1994)). While there are many physical, biological, and social dimensions to global warming, public policy requires information in at least four areas: a) evidence that global warming has occurred or is likely to occur in the future; b) predictions on the magnitude and timing of global warming, c) estimates of the damage from global warming, and d) estimates of the cost of taking actions to reduce global warming or to mitigate its damage. This paper falls in the latter category. Specifically it looks at the productivity effect of reducing GHG emissions by treating emissions as part of the production process.

This paper develops and applies an experimental measure of multifactor productivity growth that can incorporate unpriced environmental impacts. This method requires an estimate of the implicit or shadow price of emissions. The methodology to estimate this implicit price builds on the established technique of a cost-function model of the Canadian business sector and is applied to one of the more significant environmental issues facing Canada—greenhouse gas emissions.

Economists have tried to devise a productivity indicator that takes into account the production of bad outputs. Because multifactor productivity measures have been so closely related to changes in living standards, it is natural to ask whether net increases (i.e., after taking account of any increase in inputs) in marketed outputs are the only things that should 'count' as gains to our standard living. Pittman (1983) proposed a multilateral productivity index that includes undesirable as well as desirable outputs, valuing emissions by shadow prices. This approach represents an important step forward in productivity measurement, one that has been followed up only recently. His empirical results showed substantial differences between the conventional and the proposed extended productivity measures. More recently, the contributions of Färe and Grosskopf (1998) and Gollop and Swinand (2001) accept the notion that changes in commodities

that are not priced in markets should be considered in evaluating performance and indicate how they should be 'valued' in the productivity indexes.

Färe *et al.* (1993) have attempted to derive plant-specific shadow prices for emissions equal to the cost of the desirable output that must be foregone to reduce the undesirable output by one unit. A similar methodology has been used by Hailu and Veeman (2000) to construct multifactor productivity estimates for the pulp and paper industries. The adjusted multifactor productivity growth measures that they report are higher than the conventional.

In this paper, we develop a basis for integration and extension of the existing literature on the impact of bad outputs on economic performance, focusing in particular on their private implicit value. The private benefits to producers of using the environment as a free input take the form of higher output, or lower input costs for a given amount of production, than if producers reduced the "bad" outputs associated with production. That is, lowering emissions implies either decreasing marketed outputs (since "bad" outputs are produced jointly with "good" outputs) or increasing inputs (from the substitution of energy input or alternative waste disposal). Thus, actions requiring reduction of greenhouse gases impose private costs on the business sector.

Measuring the private shadow values of greenhouse gases and their link to the demand for other inputs and other components of the production structure requires a detailed estimable model of the production cost. This is accomplished using a rich industry-level (37 industries for 1981-1996) panel data set from the Canadian productivity accounts supplemented by data on greenhouse gases and natural capital from Statistics Canada's environment program. Experimental estimates on total capital input that combine both produced capital and natural capital were also constructed and implemented in our empirical work. Econometric implementation of the model with this data base allows estimation and statistical inference of the shadow or implicit price of greenhouse gases along with its relationship with input demand, technological substitution possibilities and productivity performance.

We find shadow values of greenhouse gases to be significant, larger for the crude petroleum and natural gas industry and increasing in magnitude over time. The results indicate that GHG are substitutes of capital input and complements to energy input. But the relationship between GHG and labour input is statistically not significant. We also find that, on average, conventional estimates of multifactor productivity underestimate productivity performance by about 21 percent over the 1981-1996 period.

The remainder of the paper is organized as follows. Section II is devoted to the theoretical framework; Section III gives details on data and econometric implementation; Section IV presents the results and their interpretation. Section V provides concluding remarks.

II. The Theoretical framework

1. Costs and Shadow Prices

Measuring the costs and benefits of greenhouse gases and associated environmental damage (emissions for short in the sequel) involves explicitly modeling the production structure, recognizing the wide variety of output (revenue) and input (cost) patterns exhibited in the data. Our industry-level data set includes information on the production of one "good" output and one associated "bad" output (emissions), and the use of four inputs.

We base our analysis on a cost-function characterization of input demand in the Canadian business sector. For empirical implementation, this cost function is augmented by industrial and temporal fixed effects to accommodate differences across industries and time periods. This detailed modeling framework allows us to explore a rich set of interactions among output production, emissions, and input demand.

More specifically, our total cost function takes the general form $G(Y,B,w,D,t)$ where Y is the output; B is the "bad" output; w is a vector of input prices (labour, L; capital, K; energy, E; other intermediate inputs, M); D is a vector of dummy variables corresponding to fixed effects for each industry; and t is a time trend. The total cost function measures the total of the expenditures made by an industry for all the inputs it pays explicitly for labour, capital, energy, materials and services. If the behavior of the firm indicates that it assigns a negative value to the bad output, such implicit cost does not enter the definition of G, although, as discussed further below, it may be inferred from it.

The variable B is included in the cost function on the realization that bad outputs are produced jointly with Y, or, conversely, that the environment is used as an input by producers when they release effluents into the atmosphere. Production of the bad output allows more marketable or good outputs Y to be produced from a given combination of paid inputs, or, alternatively, using emissions as an input allows the production of a given amount of Y at lower paid input costs.

Our approach focuses on private production costs, and emissions are treated either as an input to the production process or as an output whose negative value is not fully integrated into firms' revenues. The associated private shadow values z_B of the bad output, i.e. the (input) cost saving from allowing emissions, may be measured as the cost effects $-\frac{\partial G}{\partial B} = z_B$. This shadow value reflects the marginal amount the producer incurs as a result of a reduction in B. We expect that $z_B < 0$.

In our framework, these shadow values incorporate the past behavioral motivations underlying cost-efficient production choices, as well as technological substitution possibilities. z_B should thus be interpreted as a *private* cost to producers, since it represents the amount that expenditure on other inputs increased (at a given output level) as emissions were reduced by one unit.

By Shephard's lemma, the demand for input j is $X_j = \frac{\partial G}{\partial w_j}$ (where w_j is the market price of input j). Then the effect of a change of B on the demand for input j (a second order cost effect) measures the dependence of the input use on the ability to dispose of emissions. For example, because the bad output is often directly related to the use of energy, decreases in E would be associated with declines in B (while increases in most other inputs might be required to reduce emissions).

The shadow value of emissions: $z_B = -\frac{\partial G}{\partial B}$ is a relationship analogous to Shephard's lemma. In general, this is a function of all arguments of the $G(\cdot)$ function. It follows from Young's theorem that the impact on z_B of a change in an input price is symmetric to the effect of a change in B on the demand for X_j:

$$-\frac{\partial z_B}{\partial w_j} = \frac{\partial^2 G}{\partial B \partial w_j} = \frac{\partial^2 G}{\partial w_j \partial B} = \frac{\partial X_j}{\partial B}.$$

2. *Scale, Scope, and Various Relevant Technology Properties*

The framework also allows us to gain insights into the existence of cost subadditivity (cost savings) that arises from the production of a variety of outputs (economies of scope or diversity) or from larger scale of outputs (overall scale economies). Economies of scope, or cost complementarities, exist when joint production lowers aggregate costs. Overall scale economies (OSE), a measure of total output cost elasticity as a firm expands outputs along an output ray emanating from the origin, holding output mix constant, is defined as

$$OSE = \frac{\partial \ell nG}{\partial \ell nY} + \frac{\partial \ell nG}{\partial \ell nB} = \varepsilon_{G,Y} + \varepsilon_{G,B}.$$

If OSE is equal to (is greater than) (is less than) 1, production of this vector of output exhibits constant (decreasing) (increasing) returns to scale.

Economies of scope (ESC), a second indicator of the extent to which jointness among outputs gives rise to cost savings, can be examined through the second order cost effects

$$ESC = \frac{\partial^2 G}{\partial B \partial Y} = \frac{\partial MC_Y}{\partial B} \equiv \frac{\partial z_Y}{\partial B}.$$

The shadow value of the good output Y is its marginal cost $\frac{\partial G}{\partial Y} = z_Y$; indeed, if the industry is competitive, this should be equal to the price of the good output. Cost complementarities imply economies of scope if $ESC < 0$; diseconomies of scope are indicated by $ESC > 0$, whereas $ESC = 0$ is consistent with the existence of additive costs.

The elasticity $\varepsilon_{z_Y,B} = \frac{\partial \ell nMC_Y}{\partial \ell nB}$ measures the impact of emission reduction on marginal cost; it provides some indication of private producers' motivations to adapt output levels to exogenous (e.g. regulatory) changes in emissions. For example, under competition, to the extent that MC_Y is

increasing in Y, an increase in MC_Y resulting from emissions reduction would suggest reduced production of Y. Other market configurations can be analyzed as well.

3. *Multifactor Productivity*

The information about the production structure derived in the previous sections is required in order to measure and decompose multifactor productivity growth between overall scale economies and technical change. As is well known, multifactor productivity growth and technical change coincide only under constant returns to scale.

Total differentiating the total cost function $G(Y,B,w,D,t)$ with respect to time yields

$$\frac{dG}{dt} = \sum_{j=1}^{4} \frac{\partial G}{\partial w_j}\frac{dw_j}{dt} + \frac{\partial G}{\partial Y}\frac{dY}{dt} + \frac{\partial G}{\partial B}\frac{dB}{dt} + \frac{\partial G}{\partial t}. \tag{1}$$

Dividing $\frac{dG}{dt}$ by G, setting $\frac{\partial G}{\partial w_j} = X_j$ (Shephard's lemma) and rearranging the terms, we get

$$\dot{T} = \frac{\dot{G}}{G} - \sum_{j=1}^{4} \frac{w_j X_j}{G}\frac{\dot{w}_j}{w_j} - \dot{Q}, \tag{2}$$

where

$\frac{\dot{G}}{G} \equiv \frac{dG}{dt}\frac{1}{G}$ = the total change in the cost function,

$\dot{T} \equiv \frac{\partial G}{\partial t}\frac{1}{G}$ = the proportional shift in the cost function,

$\varepsilon_{GY} = \frac{\partial G}{\partial Y}\frac{Y}{G}$ = the cost elasticity of the good output Y,

$\varepsilon_{GB} = \frac{\partial G}{\partial B}\frac{B}{G}$ = the cost elasticity of the good output B,

and $\dot{Q}$ is the aggregate output growth rate, the sum of the good and the bad outputs growth rates weighted by their respective cost elasticity, that is

$$\dot{Q} = \varepsilon_{GY}\dot{Y} + \varepsilon_{GB}\dot{B}.$$

Totally differentiating $G = \sum_{j=1}^{4} w_j X_j$ with respect to time and rearranging, yields $\sum_j \frac{w_j X_j}{G}\frac{\dot{w}_j}{w_j} = \frac{\dot{G}}{G} - \sum_j \frac{w_j X_j}{G}\frac{\dot{X}_j}{X_j}$. Substituting this equation into (2) yields

$$-\dot{T} = \varepsilon_{GY}\dot{Y} + \varepsilon_{GB}\dot{B} - \dot{I}, \tag{3}$$

where $\dot{I} = \sum_j \frac{w_j X_j}{G} \frac{\dot{X}_j}{X_j}$ is the weighted growth rate of all inputs. Following standard practice, we define the multifactor productivity growth rate as $\frac{\dot{MFP}}{MFP} = \dot{Q} - \dot{I}$ —that is, the growth of the aggregate output not accounted for by the growth of the combined inputs. Substituting, we obtain the following decomposition of the multifactor productivity growth rate

$$\frac{\dot{MFP}}{MFP} = -\dot{T} + \dot{Q}[1 - (\varepsilon_{GY} + \varepsilon_{GB})]. \tag{4}$$

This formula will be used to compute multifactor productivity and decompose this measure into its two basic factors: a) a shift in the cost function due to technical change $(-\dot{T})$; and b) a movement along the cost function due to overall scale economies $\dot{Q}[1 - (\varepsilon_{GY} + \varepsilon_{GB})]$.

In the above framework, both the good and the bad output are treated as exogenous. Thus Y may be set competitively or under imperfect competition; similarly B may be affected by regulations, pressures from environment protection groups, etc.

In order to compute multifactor productivity growth and decompose it into various components discussed above, we need data on input and output growth rates, and information on the various cost elasticities involved in the above formulas. We can obtain this information from econometric estimates of the cost structure $G(\cdot)$.

III. Econometric Implementation

1. Specification of the Model

The cost function implied by the model presented in the previous section takes the general form $G = G(Y, B, w_K, w_L, w_E, w_M, D_i, t)$, where the general vector representation has been expanded to make the individual arguments of the function explicit. The vector of fixed effects D_i includes 36 industry-specific intercepts with cross effects for each input price and output quantity.

Econometric implementation of the model and construction of parametric derivative and elasticity measures first requires specifying a functional form for $G(\cdot)$. Before doing so we express all costs and prices in terms of the price of intermediate inputs, which is a way to impose homogeneity in input prices. Then we choose a translog form:

$$
\begin{aligned}
\ell n\left(\frac{G_h}{w_{sh}}\right) = {} & \beta_{oh}(D_h) + \sum_i \beta_{ih}(D_h)\ell n v_{ih} + \beta_{Yh}(D_h)\ell n Y_h + \beta_{Bh}(D_h)\ell n B_h + \beta_{th}(D_h)t \\
& + \beta_{YY}(\ell n Y_h)^2 + \beta_{BBh}(D_h)(\ell n B_h)^2 + \beta_{tt}t^2 \\
& + \sum_{i\neq j}\sum_j \beta_{ijh}(D_h)\ell n v_{ih}\ell n v_{jh} + \sum_i \beta_{iYh}(D_h)\ell n v_{ih}\ell n Y_h \\
& + \sum_i \beta_{iBh}(D_h)\ell n v_{ih}\ell n B_h + \sum_i \beta_{ith}(D_h)\ell n v_{ih}t + \beta_{YB}(D_h)\ell n Y_h \ell n B_h \\
& + \beta_{Yt}\ell n Y_h t + \beta_{Bt}\ell n B_h t.
\end{aligned} \tag{5}
$$

The subscripts i and j denote the inputs $K, L,$ and E —capital, labour, and energy—while h is an industry index. v_{ih} is the relative input price, defined as $v_{ih} = \frac{w_{ih}}{w_{sh}}$, where w_{mh} is the Fisher price index of intermediate inputs.[1] Unless explicitly written as functions of industry dummies, as discussed below, the β's are constant parameters.

Interindustry differences are captured through the following parameterisation of the β's in (5):

$$
\begin{aligned}
& \beta_{oh}(D_h) = \beta_o + \textstyle\sum_h \alpha_{oh} D_h\ ,\ \beta_{ih}(D_h) = \beta_i + \sum_h \alpha_{ih} D_h\ ,\ \beta_{Yh}(D_h) = \beta_Y + \sum_h \alpha_{Yh} D_h\ , \\
& \beta_{Bh}(D_h) = \beta_B + \textstyle\sum_h \alpha_{Bh} D_h\ ,\ \beta_{th}(D_h) = \beta_t + \sum_h \alpha_{th} D_h\ ,\ \beta_{ijh}(D_h) = \beta_{ij} + \sum_h \alpha_{ijh} D_h\ , \\
& \beta_{iYh}(D_h) = \beta_{iY} + \textstyle\sum_h \alpha_{iYh} D_h\ ,\ \beta_{iBh}(D_h) = \beta_{iB} + \sum_h \alpha_{iBh} D_h\ ,\ \text{and}\ \beta_{ith}(D_h) = \beta_{it} + \sum_h \alpha_{ith} D_h
\end{aligned}
$$

Differentiating (5) with respect to $\ell n v_{ih}$ and using Shephard Lemma gives the share of input $i = K, L$ and E in total cost.

$$
\omega_{ih} = \beta_i + \sum_i \beta_{ih}(D_h)\ell n v_{ih} + \sum_i \beta_{iYh}(D_h)\ell n Y_h + \sum_i \beta_{iKh}(D_h)\ell n B_h + \beta_{ith}(D_h)t \tag{6}
$$

where $\omega_{ih} = \frac{w_{ih} \cdot x_{ih}}{G_h}$. The share of the material and service inputs is calculated as $\omega_{mh} = 1 - \sum_i \omega_{ih}$, since there are only $n-1$ independent equations in the model.

The system of equations (5), along with its associated share equations, (6) should satisfy the usual regularity conditions. In particular, for the cost function to be concave in input prices, its Hessian matrix $\left[\frac{\partial G}{\partial w_i \partial w_j}\right]_{ij}$ of second-order derivatives with respect to variable input prices should be negative semidefinite. In addition, the cost function should be nondecreasing in output. Linear homogeneity in prices is imposed by construction but can be tested by introducing the price of intermediate inputs into each share equation, and adding terms in the cost equation in such a way that the augmented share equations can still be obtained from the cost equation by partial differentiation as indicated.

[1] The Fisher price indices of material and services were aggregated using the share of materials and services in the total cost of these two intermediate inputs.

We also assume that the error terms attached to the above equations are optimizing errors and are jointly distributed with zero expected value, and with a positive definite symmetric covariance matrix.

2. The Data and Trend Analysis

A) Methodology

The model detailed in the previous section is estimated using data for 37 two-digit industries of the Canadian business sector during the period 1981 to 1996 (see Table 1 for the list of industries).[2]

The data set is based on an extended version of the KLEMS database developed on an experimental basis to support research themes on productivity and environmental issues. The Environmental KLEMS (E-KLEMS) database contains information, at the industry level from 1981 onwards, on the value of output, the cost of primary and intermediate inputs and Fisher chained volume and price indexes of output and inputs. These variables are supplemented with a set of environmental variables on waste (greenhouse gases and other pollutants) and natural inputs such as natural reserves assets and water use developed by Statistics Canada's Environmental Accounts (Statistics Canada 1997).

The development of the E-KLEMS database is intended to help address issues on eco-efficiency, a measure of the extent to which the economic activity makes use efficiently of the environment as a free input. Economic activity has a complex relationship with the environment. It provides the raw materials for the production of goods and services that support our living standard, but it also causes damage to the environment through the activities of businesses. The conventional productivity framework is sometimes criticized for including the value of goods and services produced and the income generated through the use of environmental assets, but not reflecting the economic cost of depleting those assets or the damage that arises from economic activity.

There are various features of the E-KLEMS database:

First, E-KLEMS records the value of environmental assets that are defined as being within the scope of the system of national accounts-known as the asset boundary. For an asset to be included within the asset boundary of the national accounts it must have an identifiable owner, and the owner must be able to derive an economic benefit from the use of the asset. Assets included are those termed economic environmental assets such as subsoil assets, land, forests, water that are under the control of an economic agent (often the government).

---

[2] We only retained the industries for which real output is reasonably accurately measured. Finance and real estate, insurance, amusement and recreational service, accommodation and food services, health and social service, business service, personal and household service and educational service have been excluded.

Table 1. Industries of the Business Sector

	Industries
1	Agricultural and related services
2	Fishing and tapping
3	Logging and forestry
4	Mining
5	Crude petroleum and natural gas
6	Quarry and sand pit
7	Services incidental to mineral extraction
8	Food
9	Beverage
10	Tobacco
11	Rubber products
12	Plastic products
13	Leather and allied products
14	Primary textile
15	Textile products
16	Clothing
17	Wood
18	Furniture and fixture
19	Paper and allied products
20	Printing and publishing
21	Primary metal
22	Fabricated metal products
23	Machinery
24	Transportation equipment
25	Electrical and electronic equipment
26	Non-metallic mineral products
27	Refined petroleum products
28	Chemical industries
29	Other manufacturing
30	Construction
31	Transportation industries
32	Pipeline transport
33	Storage and warehousing
34	Communication
35	Other utility
36	Wholesale trade
37	Retail trade

Second, the environmental data appended to the conventional KLEMS database are generally measured in physical terms. This is the case for greenhouse gases, the bad output retained in the present study, and for water use and water discharge exploited in a different study (see Dachraoui and Harchaoui, in process). While the value of greenhouse gas emissions is derived implicitly using estimates of shadow prices devised econometrically in this study, for the subsoil assets, the E-KLEMS makes use of the value of sub soil assets along with the value of the resource rent, both of which have been developed by Statistics Canada's Environmental Accounts. The resource rent is the value of the capital services provided by a natural asset. It is calculated as the unit value of the output of the natural resource production (e.g. oil and gas) net of the unit cost (which includes cost of primary and intermediate inputs). The resource rent in each period is then discounted to derive the net present value of the natural asset.

The methodology used in the Canadian Productivity Accounts to construct capital input has been amended on an experimental basis to include natural capital as part of the domain of definition of capital input. We used the capital stock estimates in current prices for twenty two produced assets and two non produced assets, land and natural reserves stocks, along with their respective user cost.

The estimates of the extended capital input are adjusted for compositional changes. In order to perform this adjustment, the rental price of these twenty four types of capital are needed. Because the rental price is not directly observable, we derive it implicitly on the basis of the available information on capital compensation, the value of capital stock assets, capital gains, the tax parameters such as the corporate income tax and investment tax credits, the depreciation rate of produced capital stock and the depletion rate of natural stock. The internal rate of return, calculated residually, ensures the consistency between capital compensation and the cost of capital of all produced and nonproduced assets. Over the 1981-1996 period, the effect of changes in total capital composition, measured as the difference between the growth rate of total capital input and the growth rate of total capital stock, grew at an average rate of 1.1 percent.

The E-KLEMS database also provides hours worked by industry. Household survey data are used to disaggregate total hours into hours worked by different types of workers classified by demographic variables such as sex, age, and education. Assuming that workers are paid proportionately to the value of their marginal products, Gu *et al.* (2002) calculate labour input as a weighted sum of hours worked by different types of workers, weighted by relative wage rates. Annual growth in the labour input for the business sector as a whole from 1981-1996 averaged 2.1 percent; hours grew an average 1.3 percent per year; and labour composition increased an average of 0.8 percent.

B) Trend Analysis of the Data

We present certain selective descriptive statistics on the cost and prices of the 37 industries in our data. In Table 2, we provide the average levels of total cost and average annual growth rates of real output and greenhouse gases, prices of real inputs and cost shares for the period 1981-1996 for the 37 industries.

As is clear from the descriptive statistics, the size of the industries, measured by total cost or gross nominal output, varies considerably. Trade, construction, transportation equipment, food and transportation are among the largest industries in the business sector defined in this paper. Other industries such as mining, tobacco, furniture and fixtures, and leather and allied products are relatively small.

Table 2 - Descriptive Statistics (1981-1996)

	C	ω_K	ω_L	ω_M	$\dot{K}$	$\dot{L}$	$\dot{M}$	$\dot{Y}$	$\dot{B}$	$\dot{w}_K$	$\dot{w}_L$	$\dot{w}_M$
Agricultural and related service	27.5	0.171	0.226	0.548	-4.05	-0.48	2.07	2.22	-0.26	4.76	4.54	2.04
Fishing and trapping	1.6	0.347	0.244	0.331	-2.75	0.73	4.76	0.66	0.49	4.82	8.52	3.19
Logging and forestry	8.1	0.137	0.319	0.511	-3.49	-0.28	4.87	2.87	5.83	14.58	4.47	3.08
Mining	11.7	0.356	0.256	0.318	-2.13	-2.10	1.17	1.41	-0.53	3.56	4.37	2.35
Crude petroleum and natural gas	22.5	0.674	0.092	0.212	0.11	1.21	8.08	3.89	4.26	0.76	6.01	2.86
Quarry and sand pit	1.1	0.268	0.280	0.379	0.09	0.01	2.07	2.12	2.47	5.36	5.49	2.80
Services incidental to mineral extraction	4.3	0.170	0.353	0.423	0.50	1.62	1.74	0.89	-3.38	-1.35	4.35	2.58
Food	38.4	0.117	0.151	0.718	1.15	-0.16	1.28	1.13	0.38	5.99	4.20	2.08
Beverage	5.8	0.259	0.208	0.520	-0.91	-2.33	1.13	0.41	-2.85	6.41	5.55	3.00
Tobacco products	1.9	0.294	0.150	0.552	-1.36	-5.08	-0.47	-1.64	-1.96	11.89	7.92	3.90
Rubber products	3.1	0.090	0.323	0.568	0.86	-0.55	2.58	3.42	-1.20	12.57	4.87	2.40
Plastic products	5.5	0.139	0.237	0.603	4.93	3.63	5.46	5.24	2.84	5.49	4.80	2.12
Leather and allied products	1.2	0.101	0.317	0.573	-1.35	-5.72	-4.63	-4.81	-4.06	-3.85	4.27	3.13
Primary textile	3.0	0.144	0.240	0.588	-0.38	-3.45	-0.10	0.35	-1.97	5.38	5.18	1.49
Textile products	3.0	0.108	0.256	0.618	-0.09	-1.28	0.68	0.26	5.45	2.50	4.63	2.05
Clothing	6.1	0.116	0.315	0.563	1.53	-2.22	-0.18	-0.25	-2.04	3.37	3.77	2.21
Wood	15.0	0.087	0.264	0.625	0.98	0.76	3.71	3.30	3.96	14.08	4.07	3.71
Furniture and fixture	4.0	0.112	0.319	0.557	1.74	0.75	1.95	1.74	2.92	5.21	3.62	3.18
Paper and allied products	22.6	0.130	0.224	0.572	3.73	-1.43	2.46	1.84	-0.17	3.16	5.43	2.66
Printing, publishing and allied	11.7	0.15	0.358	0.459	3.80	1.25	1.78	0.64	3.15	2.79	4.53	3.65
Primary metal	23.3	0.073	0.209	0.642	0.21	-2.76	2.17	2.06	-0.61	6.15	5.73	1.74
Fabricated metal products	16.5	0.118	0.291	0.578	-0.86	0.30	0.80	0.93	2.17	5.51	4.14	2.38
Machinery (except electrical mach)	9.9	0.138	0.292	0.560	1.59	0.14	2.12	1.57	0.35	3.88	4.42	2.90
Transportation equipment	53.1	0.080	0.175	0.738	2.33	1.20	6.28	6.00	2.00	13.90	5.30	3.04
Electrical and electronic products	18.9	0.126	0.259	0.606	3.03	-1.26	8.93	6.94	-2.26	1.03	5.05	0.17
Non-metallic mineral products	6.6	0.168	0.267	0.504	-3.23	-1.24	0.55	0.13	0.62	9.16	4.04	2.63
Refined petroleum and coal products	18.5	0.025	0.047	0.899	-1.98	-4.40	-0.31	-0.04	1.49	8.98	5.07	0.25
Chemical and chemical products	22.2	0.199	0.163	0.575	1.14	-0.27	1.37	2.21	0.51	7.90	4.97	2.37
Other manufacturing	6.7	0.131	0.284	0.576	3.81	0.42	0.98	1.29	0.07	3.25	4.18	1.91
Construction	83.0	0.088	0.328	0.571	2.97	0.34	0.45	0.08	-0.43	-2.70	2.91	2.92
Transportation	38.6	0.139	0.363	0.390	1.78	0.34	2.84	2.51	2.49	3.44	3.64	2.88
Pipeline transport	3.1	0.689	0.121	0.122	3.37	0.91	6.21	5.64	8.92	3.45	6.09	2.75
Storage and warehousing	1.2	0.207	0.460	0.295	0.51	1.04	2.55	1.60	1.83	1.16	4.06	3.34
Communication	22.3	0.344	0.384	0.262	2.99	1.22	6.66	4.93	6.60	3.73	3.69	2.88
Other utility	23.2	0.596	0.197	0.131	2.40	1.40	7.76	2.68	2.22	5.24	4.49	2.26
Wholesale trade	41.7	0.184	0.491	0.293	4.16	1.73	5.96	4.86	2.64	2.51	4.80	3.18
Retail trade	48.5	0.132	0.546	0.285	3.65	1.31	4.20	2.60	1.18	0.32	3.57	3.40
Business Sector	**635.2**	**0.201**	**0.270**	**0.494**	**1.673**	**0.122**	**3.319**	**2.499**	**1.9**	**4.329**	**4.394**	**2.606**

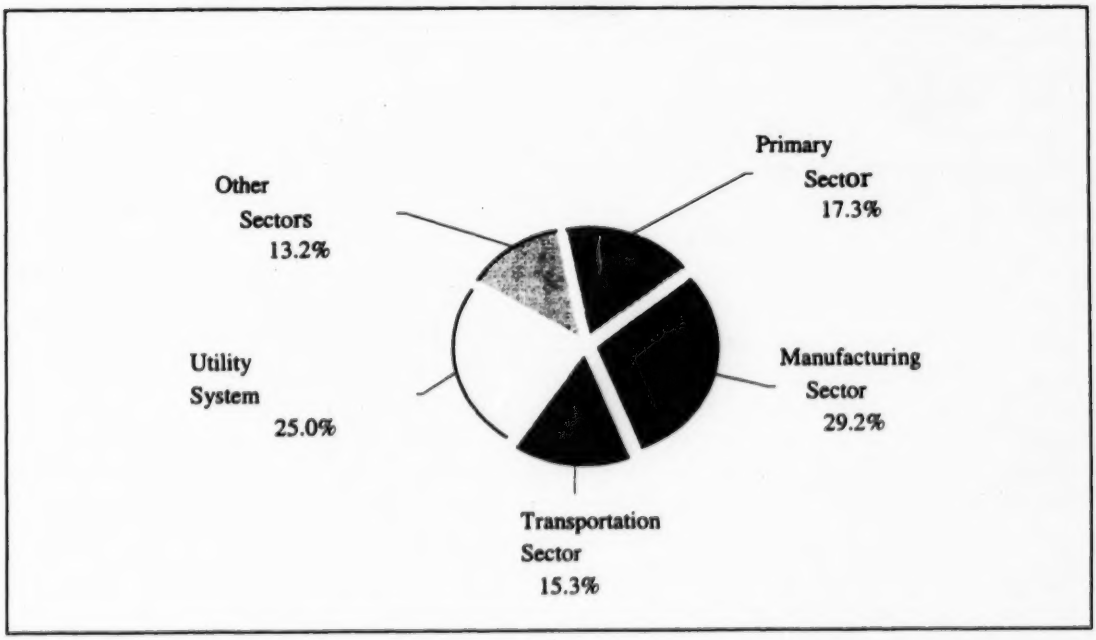
C = average total cost ($ millions); ω_K = capital compensation share; ω_L = labour compensation share; ω_M = share of intermediate expenditures; $\dot{Y}$ = gross output average annual growth rate; $\dot{K}$ = capital services average annual growth rate; $\dot{L}$ = average annual growth rate of hours adjusted for labour composition; $\dot{M}$ = average annual growth rate of intermediate inputs; $\dot{w}_i$ = average annual growth of the price of the input i (capital, labour and intermediate inputs). The chain Fisher index, where the weights are defined in terms of cost share, was used to construct the business sector figures.

In addition, factor cost shares vary considerably among the 37 industries. For example, labour compensations's share ranges from a low of about 0.09 in crude petroleum and natural gas to a high of 0.55 in retail trade. Capital compensation's share of total cost also varies considerably across industries, ranging from 0.09 in construction to 0.67 in crude petroleum and natural gas. Generally, capital compensation's share of total cost, with a few exceptions (most notably mining, crude petroleum and natural gas, fishing and trapping, chemical, pipeline transport, other utility, beverage and tobacco) is less than labour compensation's share. Intermediate inputs on the other hand, have the largest share in total cost in almost all industries, ranging from 0.12 in pipeline transport to 0.90 in refined petroleum and coal products.

Output grew at 2.5 percent over the 1981-1996 period. The rates of growth of output and inputs shown in Table 1 also vary among industries over the period 1981-1996. In leather and allied products, tobacco, clothing and refined petroleum products, the growth of output was negative. Other industries such as services incidental to mining, fishing and trapping, primary textile, textile products, printing and publishing, etc., show a lacklustre growth of output. A number of industries experienced output growth rates ranging between 1 percent to over 2.5 percent. Some industries in manufacturing and service sectors experienced impressive gains in output; the growth rates for these industries ranged from approximately 3.4 percent in rubber products to about 6.9 percent in electric and electronic products. The diversity in the growth pattern of output and inputs across industries suggests that different industries have experienced different changes in their input mix and output and productivity growth. Similar patterns of negative, small and rapid growth rates are visible in the growth rates of labour, capital and intermediate inputs. The growth rates of output price and input prices with few exceptions were generally positive but varied considerably across industries.

During the 1981-1996 period, the business sector's greenhouse gases experienced a 1.9 percent average annual growth, compared with 2.5 percent for output. Over this period, primary sector industries, manufacturing, utility and transportation were the largest producers of greenhouse gas emissions. In 1996, the generation of greenhouse gases by these four sectors accounted for 86.8 percent of the business sector total emissions, unchanged from 1981 (Figure 1).

Figure 1. Canadian Business Carbon Dioxide Emissions, 1996



Greenhouse gases annual growth rates over the 1981-1996 period also display a great deal of variation across industries. About 30 percent of all industries posted a decline in greenhouse gas emissions during this period. This includes mostly manufacturing industries such as beverage and clothing but also primary industries such as agriculture, mining and services incidental to mining which account for reasonably high contribution within the primary sector. Greenhouse gases experienced rapid growth in industries such as crude petroleum and natural gas, utility, transportation, refined petroleum and coal products. But in the majority of industries, the ratio of good output to greenhouse gases grew rapidly, which is a form of efficiency gain.

The substantial diversity in the growth of output greenhouse gases and the structure of costs among the industries over the period 1981-1996 provides a rich body of data to test econometrically the impact of different variables on the growth of output and productivity. The diversity pattern noted here implies that the response of various industries to changes in variables such as greenhouse gases or output are likely to be very diverse. Therefore, we expect the estimated elasticities, the shadow price of greenhouse gases and multifactor productivity growth rates calculated for different industries using the parameter estimates of our econometric model to vary across industries. These inter-industry variations motivate the use of a specification that captures industry idiosyncrasies.

3. Estimation

The estimation was carried out for 37 industries of the Canadian business sector for the period 1981-1996. These industries cover the mineral sector, the manufacturing sector, the non-financial services sector and utility industries. In addition to estimates for the 37 industries listed in Table 1, we also derived an estimate for these entire sectors by aggregating data across industries using Fisher indices.

The system of equations used to estimate the parameters required by our measurement framework consists of the cost function (5); and the share equations for $i = K, L$ and E given by (6). The share equation of intermediate inputs is obtained residually from the constraint that cost shares must sum to one. We have pooled time-series cross section data for 37 two-digit industries of the Canadian business sector for the period 1981-1996 to estimate the model. Estimating the model as a pooled system not only adds flexibility to the model (additional degrees of freedom) but also imposes cross-equation restrictions to allow a fully integrated cost structure model, facilitating more efficient estimates. Seemingly unrelated regressions techniques were used for estimation, since the equations share common parameters.

This equation system was estimated by non-linear seemingly unrelated (SUR) systems procedures instead of instrumental variables (IV), which is often used to take into account potential output endogeneity or errors in variables. However, we indirectly use the IV technique. The instrumental variables technique usually relies on lagged exogeneous variables as instruments. Our correction for first-order autoregressive disturbances makes use of lagged values of exogenous variables as instruments. Therefore, the correction for autocorrelation of residuals turns out to rely implicitly on the IV technique.

Adaptations were made to accommodate potential unknown sources of heteroskedasticity. Changing the input demand equations to input/output measures to reduce variations in scale across industries and time did not affect the estimates substantially. The results reported below are based on the unmodified system, using White's heteroskedastic-consistent covariance matrix to generate standard errors.

Durbin-Watson tests indicated that autocorrelated errors were present in the cost and input demand equations. Therefore, the lagged dependent variable was incorporated into the cost equation giving the form $G_t = \alpha + \beta X_t + \rho G_{t-1} + u_t$ which in turn implies, after suitable substitutions, the following form $G_t = \alpha(1+\rho) + \beta(X_t + \rho X_{t-1}) + (u_t + \rho u_t)$ where X_t refers to the vector of right-hand variables in (5), α and β refer to the corresponding parameters, and ρ is the coefficient of autocorrelation.

IV. Empirical Results

The estimated parameters and their standard errors as well as the parameter estimates for industry dummies are shown in Table 3. Although in a model this complex, the individual parameter estimates have limited interpretation, the overall statistical significance of the parameters is notable. Most industry dummies are significant; so is the estimate of ρ. The R^2s, reported in Table 3, indicate excellent "fits" for the estimated equations—all being higher than 0.95. The results also indicate that the model is well estimated. The square of the correlation coefficients between the actual and predicted values is high, and the standard errors of each equation are small. In addition, all the required regularity conditions are satisfied at each point in the sample. The coefficients of the model are statistically significant and have the correct sign.

1. Specification and Hypothesis Tests

The results of the hypothesis tests using log-likelihood ratios are shown in Table 4. The results of the hypothesis tests using log-likelihood ratios decisively reject the joint hypothesis that the dummy industry coefficients are zero (first row), indicating that strong interindustry differences are present in the cost structure of the industries under consideration. The hypothesis that the coefficients of the bad output are zero in the total cost function (5) is decisively rejected (second row). Also, the hypothesis that the cost function is homogeneous of degree one in the input prices is not rejected.

Similarly, the hypothesis that firms do not produce a joint product $\varepsilon_{GB} = 0$, that there is no technical change prevail, $\varepsilon_{Gt} = 0$, and the industries operate under overall constant returns to scale $\varepsilon_{GY} + \varepsilon_{GB} = 1$ were separately tested. In each case, the test consists in obtaining a vector of estimated parameters $\tilde{\Theta}$ from the four equation system (5)-(6) plus the additional restriction to be tested. If $\hat{\Theta}$ is the vector of unrestricted estimated parameters, then the quadratic form

$$M = \left(\hat{\Theta} - \tilde{\Theta}\right)' \left\{Cov\left(\hat{\Theta}\right) - Cov\left(\tilde{\Theta}\right)\right\}^{-1} \left(\hat{\Theta} - \tilde{\Theta}\right),$$

is asymptotically chi squared with degrees of freedom equal to the number parameters of the imposed restriction. Each of the first two hypotheses was rejected, but the assumption of constant ray scale economies was not rejected ($M = 210 > \chi^2_{95;.001} = 134; M = 157 > \chi^2_{95;.001} = 134$, $M = 108 > \chi^2_{95;.001} = 114$ respectively).

Table 3. Parameter Estimates of Cost Structure (Sample Period 1981-1996)

Parameter	Estimate	Standard Error	Parameter	Estimate	Standard Error
B_0	1.79844	2.22285	$a_{K,14}$	-0.30771	0.241422
$a_{0,1}$			$a_{K,15}$	-0.3605	0.204562
$a_{0,2}$	1.68764	1.71969	$a_{K,16}$	-0.35499	0.200541
$a_{0,3}$	1.19111	1.63142	$a_{K,17}$	-0.39906	0.1789
$a_{0,4}$	-0.03073	1.65079	$a_{K,18}$	-0.14448	0.197741
$a_{0,5}$	4.09267	1.66929	$a_{K,19}$	-0.13982	0.182936
$a_{0,6}$	1.94153	1.59738	$a_{K,20}$	6.46E-04	0.184312
$a_{0,7}$	0.942586	1.69085	$a_{K,21}$	-0.38251	0.200502
$a_{0,8}$	1.76937	2.4728	$a_{K,22}$	-0.23782	0.196125
$a_{0,9}$	1.22212	2.12094	$a_{K,23}$	-0.28218	0.185983
$a_{0,10}$	1.29155	1.73653	$a_{K,24}$	-0.48356	0.183295
$a_{0,11}$	2.6929	1.69556	$a_{K,25}$	-0.18819	0.218136
$a_{0,12}$	2.06508	1.58799	$a_{K,26}$	-0.17009	0.178373
$a_{0,13}$	-1.38548	1.7953	$a_{K,27}$	-0.20937	0.188203
$a_{0,14}$	1.75288	1.92197	$a_{K,28}$	-0.48084	0.236293
$a_{0,15}$	1.52073	1.62896	$a_{K,29}$	-0.27161	0.177563
$a_{0,16}$	2.22914	1.77913	$a_{K,30}$	-0.23059	0.183778
$a_{0,17}$	1.1383	1.62589	$a_{K,31}$	-0.60302	0.282178
$a_{0,18}$	0.976801	1.62156	$a_{K,32}$	0.129868	0.201813
$a_{0,19}$	0.183455	1.63877	$a_{K,33}$	1.24E-03	0.223328
$a_{0,20}$	1.08851	1.7916	$a_{K,34}$	-0.55209	0.229791
$a_{0,21}$	1.93164	1.77657	$a_{K,35}$	0.068963	0.478113
$a_{0,22}$	1.70117	1.67682	$a_{K,36}$	-0.44587	0.213077
$a_{0,23}$	0.8495	1.64661	$a_{K,37}$	-0.40323	0.193961
$a_{0,24}$	3.27164	1.63606			
$a_{0,25}$	2.26088	1.6426	β_L	0.36534	0.238352
$a_{0,26}$	-0.03795	1.69182	$a_{L,1}$		
$a_{0,27}$	1.76675	2.14642	$a_{L,2}$	0.37586	0.238447
$a_{0,28}$	2.74055	1.92493	$a_{L,3}$	0.847295	0.281046
$a_{0,29}$	1.02683	1.60697	$a_{L,4}$	-0.06589	0.324054
$a_{0,30}$	0.68629	1.67595	$a_{L,5}$	-0.19844	0.287238
$a_{0,31}$	3.23662	1.71144	$a_{L,6}$	-0.06644	0.266611
$a_{0,32}$	4.97099	1.73975	$a_{L,7}$	-0.06163	0.279595
$a_{0,33}$	1.41906	1.87904	$a_{L,8}$	0.219847	0.392814
$a_{0,34}$	4.92566	1.62951	$a_{L,9}$	0.377695	0.275679
$a_{0,35}$	-0.1748	2.31137	$a_{L,10}$	0.419143	0.256785
$a_{0,36}$	2.57108	1.65373	$a_{L,11}$	0.165805	0.269847
$a_{0,37}$	2.68888	1.66999	$a_{L,12}$	0.254067	0.280473
			$a_{L,13}$	0.323133	0.291701
β_K	-0.13792	0.188758	$a_{L,14}$	-0.09217	0.243175
$a_{K,1}$			$a_{L,15}$	0.033168	0.254252
$a_{K,2}$	-0.48223	0.175482	$a_{L,16}$	0.182877	0.332996
$a_{K,3}$	-0.21681	0.172512	$a_{L,17}$	0.116462	0.309667
$a_{K,4}$	-0.29212	0.178739	$a_{L,18}$	0.152661	0.27601
$a_{K,5}$	0.524024	0.189992	$a_{L,19}$	-0.40298	0.257467
$a_{K,6}$	-0.1806	0.168562	$a_{L,20}$	0.10033	0.290089
$a_{K,7}$	-0.29378	0.194858	$a_{L,21}$	-0.05878	0.246533
$a_{K,8}$	-0.3274	0.463629	$a_{L,22}$	0.012101	0.266959
$a_{K,9}$	0.013891	0.225846	$a_{L,23}$	0.238059	0.251279
$a_{K,10}$	-0.57332	0.201513	$a_{L,24}$	0.211646	0.285517
$a_{K,11}$	-0.34389	0.184712	$a_{L,25}$	0.232119	0.271288
$a_{K,12}$	-0.23037	0.196765	$a_{L,26}$	-0.01764	0.270478
$a_{K,13}$	-0.03914	0.2488	$a_{L,27}$	-0.04786	0.239775

Table 3. Parameter Estimates of Cost Structure (Sample Period 1981-1996) - Continued

Parameter	Estimate	Standard Error	Parameter	Estimate	Standard Error
$\alpha_{L,28}$	-0.14453	0.318454	$\alpha_{Y,4}$	-0.42131	0.225944
$\alpha_{L,29}$	0.206469	0.266481	$\alpha_{Y,5}$	0.577569	0.215312
$\alpha_{L,30}$	0.170548	0.277321	$\alpha_{Y,6}$	-0.08828	0.188994
$\alpha_{L,31}$	0.067362	0.365111	$\alpha_{Y,7}$	0.071283	0.191973
$\alpha_{L,32}$	0.378274	0.265955	$\alpha_{Y,8}$	-0.01039	0.313918
$\alpha_{L,33}$	0.154204	0.282896	$\alpha_{Y,9}$	-0.2338	0.270028
$\alpha_{L,34}$	0.549666	0.361923	$\alpha_{Y,10}$	0.325122	0.2155
$\alpha_{L,35}$	0.516156	0.406778	$\alpha_{Y,11}$	-0.23438	0.189483
$\alpha_{L,36}$	-0.50552	0.439498	$\alpha_{Y,12}$	-0.19271	0.197137
$\alpha_{L,37}$	0.54435	0.363137	$\alpha_{Y,13}$	0.336623	0.245626
			$\alpha_{Y,14}$	-0.04012	0.206837
β_E	0.076285	0.018176	$\alpha_{Y,15}$	0.041399	0.209288
$\alpha_{E,1}$			$\alpha_{Y,16}$	-0.14175	0.23685
$\alpha_{E,2}$	0.021359	7.72E-03	$\alpha_{Y,17}$	-0.02258	0.21998
$\alpha_{E,3}$	-0.01286	7.45E-03	$\alpha_{Y,18}$	-0.05748	0.201745
$\alpha_{E,4}$	0.01528	7.57E-03	$\alpha_{Y,19}$	0.212148	0.203255
$\alpha_{E,5}$	-0.03556	7.67E-03	$\alpha_{Y,20}$	-0.2662	0.302603
$\alpha_{E,6}$	0.026359	7.53E-03	$\alpha_{Y,21}$	-0.03067	0.202297
$\alpha_{E,7}$	-0.01064	7.80E-03	$\alpha_{Y,22}$	-0.1445	0.214563
$\alpha_{E,8}$	-0.04435	7.63E-03	$\alpha_{Y,23}$	0.034422	0.187276
$\alpha_{E,9}$	-0.0402	7.52E-03	$\alpha_{Y,24}$	-0.21407	0.208113
$\alpha_{E,10}$	-0.04314	7.86E-03	$\alpha_{Y,25}$	-0.33133	0.21013
$\alpha_{E,11}$	-0.03571	7.69E-03	$\alpha_{Y,26}$	0.181484	0.209717
$\alpha_{E,12}$	-0.03449	8.01E-03	$\alpha_{Y,27}$	-0.11886	0.375543
$\alpha_{E,13}$	-0.05312	7.73E-03	$\alpha_{Y,28}$	0.033681	0.236817
$\alpha_{E,14}$	-0.03205	7.56E-03	$\alpha_{Y,29}$	0.06145	0.210291
$\alpha_{E,15}$	-0.04082	7.56E-03	$\alpha_{Y,30}$	0.152294	0.211514
$\alpha_{E,16}$	-0.05191	7.66E-03	$\alpha_{Y,31}$	-0.02587	0.327246
$\alpha_{E,17}$	-0.02588	7.86E-03	$\alpha_{Y,32}$	-1.30088	0.250253
$\alpha_{E,18}$	-0.04681	7.72E-03	$\alpha_{Y,33}$	-0.28925	0.242029
$\alpha_{E,19}$	0.013567	7.92E-03	$\alpha_{Y,34}$	-0.5157	0.203595
$\alpha_{E,20}$	-0.04913	7.90E-03	$\alpha_{Y,35}$	-0.18175	0.28968
$\alpha_{E,21}$	0.019871	7.65E-03	$\alpha_{Y,36}$	9.02E-03	0.267514
$\alpha_{E,22}$	-0.04401	7.52E-03	$\alpha_{Y,37}$	-0.24469	0.232764
$\alpha_{E,23}$	-0.05048	7.63E-03			
$\alpha_{E,24}$	-0.04214	7.84E-03	β_B	-0.24357	0.349497
$\alpha_{E,25}$	-0.05461	8.22E-03	$\alpha_{B,1}$		
$\alpha_{E,26}$	1.14E-03	7.47E-03	$\alpha_{B,2}$	0.22919	0.091914
$\alpha_{E,27}$	-0.02463	7.68E-03	$\alpha_{B,3}$	-0.04362	0.082894
$\alpha_{E,28}$	9.53E-03	7.74E-03	$\alpha_{B,4}$	0.71505	0.156504
$\alpha_{E,29}$	-0.04953	7.84E-03	$\alpha_{B,5}$	-1.92779	0.126386
$\alpha_{E,30}$	-0.04157	7.86E-03	$\alpha_{B,6}$	-0.12439	0.081974
$\alpha_{E,31}$	0.0548	7.81E-03	$\alpha_{B,7}$	0.031471	0.089945
$\alpha_{E,32}$	-6.36E-03	8.42E-03	$\alpha_{B,8}$	-0.0389	0.150138
$\alpha_{E,33}$	-0.0176	7.68E-03	$\alpha_{B,9}$	-0.03232	0.13163
$\alpha_{E,34}$	-0.03765	8.00E-03	$\alpha_{B,10}$	-0.02241	0.099737
$\alpha_{E,35}$	0.017356	8.12E-03	$\alpha_{B,11}$	-1.41E-03	0.089924
$\alpha_{E,36}$	-0.01819	7.93E-03	$\alpha_{B,12}$	-0.01937	0.109947
$\alpha_{E,37}$	-0.01638	7.87E-03	$\alpha_{B,13}$	5.48E-03	0.106752
			$\alpha_{B,14}$	-0.02948	0.087042
β_Y	-1.9234	0.698464	$\alpha_{B,15}$	-1.73E-03	0.086581
$\alpha_{Y,1}$			$\alpha_{B,16}$	0.021641	0.098459
$\alpha_{Y,2}$	-0.1233	0.202763	$\alpha_{B,17}$	0.168601	0.101881
$\alpha_{Y,3}$	-2.61E-03	0.203294	$\alpha_{B,18}$	1.46E-03	0.092735

Table 3. Parameter Estimates of Cost Structure (Sample Period 1981-1996) - Continued

Parameter	Estimate	Standard Error	Parameter	Estimate	Standard Error
$a_{B,19}$	-0.10597	0.111986	β_t	0.042821	0.017031
$a_{B,20}$	0.040838	0.140766	β_{KK}	-0.02496	7.10E-03
$a_{B,21}$	9.37E-03	0.172539	β_{LL}	0.033634	3.96E-03
$a_{B,22}$	0.018946	0.11355	β_{EE}	0.018073	1.26E-03
$a_{B,23}$	0.070726	0.107867	β_{YY}	0.233183	0.087873
$a_{B,24}$	2.92E-03	0.131835	β_{BB}	6.74E-03	0.032173
$a_{B,25}$	0.023261	0.090364	β_{tt}	-2.94E-04	1.46E-04
$a_{B,26}$	0.015604	0.15398			
$a_{B,27}$	-0.05369	0.141198	β_{EK}	6.24E-03	2.71E-03
$a_{B,28}$	-0.1261	0.152542	β_{EL}	-7.68E-03	3.13E-03
$a_{B,29}$	-9.45E-03	0.085635	β_{EY}	-0.0164	2.88E-03
$a_{B,30}$	-0.07449	0.128129	β_{EB}	4.47E-03	1.39E-03
$a_{B,31}$	-0.0695	0.235423	β_{ET}	1.58E-04	2.23E-04
$a_{B,32}$	0.106971	0.103081	β_{KL}	0.031343	6.91E-03
$a_{B,33}$	-0.02328	0.084992	β_{KY}	0.162921	0.014872
$a_{B,34}$	0.016713	0.095885	β_{KB}	-0.01553	7.15E-03
$a_{B,35}$	0.156925	0.138511	β_{Kt}	-2.83E-03	1.24E-03
$a_{B,36}$	-0.11913	0.144599	β_{LY}	-0.11251	7.49E-03
$a_{B,37}$	0.071887	0.140659	β_{LB}	1.39E-03	3.61E-03
			β_{Lt}	-5.61E-04	5.91E-04
ρ	0.2096	0.040871	β_{YB}	0.036789	0.083814
ρ_E	0.810904	0.024865	β_{Yt}	-5.14E-03	4.77E-03
ρ_K	1.00025	4.02E-03	β_{Bt}	3.09E-03	2.99E-03
ρ_L	1.00166	1.46E-03			

Table 3. Parameter Estimates of Industries' Cost Structure (Sample Period 1996-1998)—Continued

Equation	Standard Error	R^2
Total Cost	0.027976	0.98
Capital Share	0.025634	0.98
Labour Share	0.012446	0.99
Energy Share	0.004354	0.98

Table 4. Hypothesis Testing

Parameter Restrictions	Log of Likelihood	χ^2	Degrees of Freedom
$\underline{\alpha}_{oh} = \underline{\alpha}_{Kh} = \underline{\alpha}_{Lh} = \underline{\alpha}_{Eh} = \underline{\alpha}_{Yh} = \underline{\alpha}_{Bh} = \underline{\alpha}_{th} = \underline{\alpha}_{i,j,h} = \underline{\alpha}_{i,Y,h} = \underline{\alpha}_{i,B,h} = \underline{\alpha}_{i,t,h} = 0$	1941	1239	407
$\underline{\alpha}_{B,h} = \underline{\alpha}_{i,B,h} = 0$	1863	712	64

Note: The critical values χ^2 with 407 and 64 degrees of freedom are 654 and 126, respectively.

$\underline{\alpha}$ is the vector of dummy parameters.

2. *Various Estimation Issues*

A) Spurious Correlation

The presence of common trend among variables in the time series models of production structure is a serious econometric issue. This criticism is equally applicable to production and cost function studies, whether they include environmental variables or not. It is true that private sector variables such as output, labour, intermediate inputs and private capital stock are highly correlated over time and may share a common trend. There is nothing particularly different about environmental variables in this respect.

One method for removing a common trend is to estimate the model in a first-difference form. Estimation of this form eliminates a potential influence of trend. Equations (5) and (6) were estimated in 'first-difference' form by setting the serial correlation parameter ρ to unity. The parameter estimates (not reported here, but available on request) indicate that the models fit the data very well. Signs and magnitudes are similar to those when the models were estimated in level form. This should not come as a surprise as the values of the serial correlation coefficients ρ shown in Table 3 are close to unity.

B) The Issue of Capital Fixity

The various cost and demand relationships developed above are characterized through first and second order derivatives or elasticities of the cost function with respect to the arguments of $G(\cdot)$. However, divergence in input demand patterns from those appropriately represented by Shephard's lemma would complicate or preclude the estimation and interpretation of these elasticities. Even though such deviations from standard assumptions of basic microeconomic theory did not emerge in the end, the knowledge that they might exist stimulated an empirical investigation of alternative models that recognizes these potential difficulties.

The most common problem of this sort is the quasi-fixity of inputs such as capital. If full adjustment to equilibrium input levels does not take place within the time frame of the data, Shephard's lemma will not appropriately represent input demand behavior. This rigidity problem is often dealt with by incorporating capital stock instead of its rental price in the $G(\cdot)$ function if we have reasons to believe that capital has binding fixity constraints. This implied divergence from equilibrium demand (or, equivalently, variations from full utilization) represented by the deviations between a factor's shadow value $z_K = -\frac{\partial G}{\partial K}$ and its market price w_K.

Alternatively, the true/effective quantity demand of an input may be represented by directly adapting the *data* to embody the discrepancy. In particular, if the true (or shadow) price of the factor z_K is used as an argument of $G(\cdot)$ rather than an unadjusted market price, the validity of Shephard's lemma is maintained.

Although the data for this study were carefully constructed to reflect the input flow values, sensitivity checks were carried out to determine the validity of the assumption of variable inputs. These checks supported our final empirical specification; the assumption seemed justified by the appropriate levels and shapes of the resulting demand equations. In fact, when capital was not characterized as a choice variable, the results were not as justifiable as when Shephard's lemma was implemented.

Our empirical findings based on these data suggest that the approach employed was carried out in a manner consistent with economic theory. The use of Shephard's lemma seems justified by both the correct (in terms of required regularity conditions) and intuitively plausible estimates of demand behavior. And when optimization equations were not imposed for the K input, the resulting estimates remained substantively unchanged.

3. Economic Interpretation

The various cost elasticities computed from the estimated parameters for the full data sample are presented in Table 5. The reported estimates are weighted averages across all the 37 industries and time periods for each measure. The t-statistics are based on computation of the measures evaluated at the average (mean) values of the data.[3]

The primary measures for evaluating the marginal benefit of using the environment for disposal of greenhouse gases is the shadow value s_B computed by partial differentiation of (5) with respect to ℓnB. At the aggregate level, the cost elasticity of the bad output $\varepsilon_{G,B}$ is -0.14, thus indicating that allowing higher emissions is cost-saving for the producer. The significance level is better than 2 percent. There is however a great deal of variation across industries. With a value of -1.91, the oil and gas industry shows the highest cost elasticity with respect to emissions, followed far behind by chemical industries with -0.12.

The negative aggregate estimate of $\varepsilon_{K,B}$ suggests that capital has a tendency to "substitute" for environmental quality, in the sense that additional capital is required to reduce emissions. Both of the elasticities of labour and energy with respect to emissions are positive, but only the latter is statistically significant. Reduction of emissions implies lower energy use.

For the outputs, the positive elasticity ($\varepsilon_{MC,B} = 0.037$) implies the absence of scope economies or jointness between the good and bad output. However, this result is not statistically significant. Some interesting implications are suggested by the emission shadow value in Table 5. The results indicate that the shadow value of emissions increases at 0.03 percent per year on average, holding other variables constant.

[3] The measures were constructed for these data using the delta method (essentially a generalized Wald test) by the ANALYZ command in TSP.

Table 5. Estimates of the Elasticities (Mean Values 1981-1996)

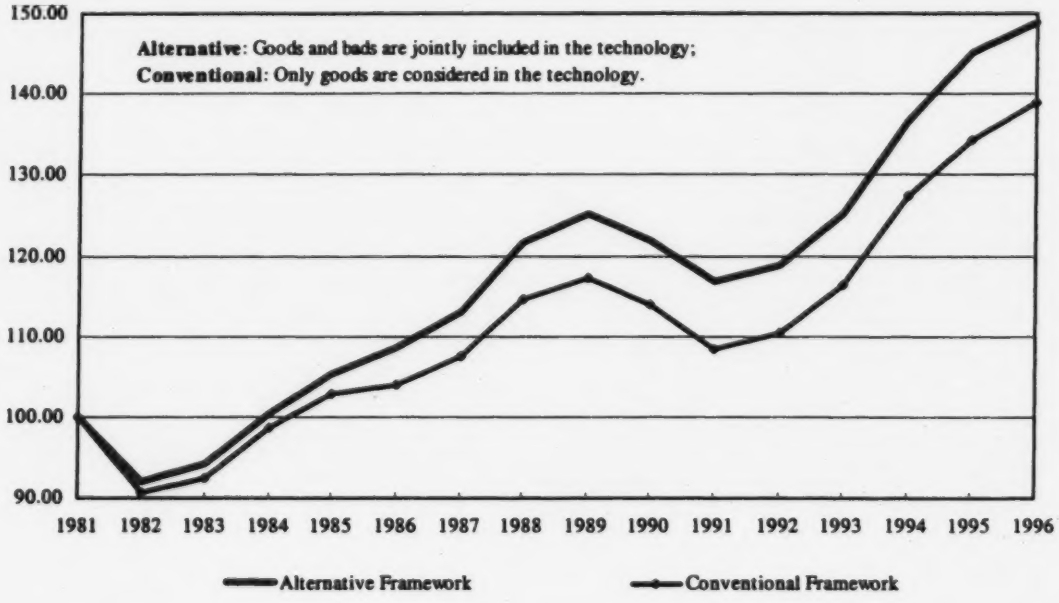
Industries	$\varepsilon_{G,B}$	$\varepsilon_{G,Y}$	$\varepsilon_{G,K}$	$\varepsilon_{G,L}$	$\varepsilon_{G,E}$	$\varepsilon_{G,t}$	$\varepsilon_{K,B}$	$\varepsilon_{L,B}$	$\varepsilon_{E,B}$	$\varepsilon_{Sb,t}$	*OSE*	*ESC*
Agricultural and related services	0.0137	0.9728 **	0.2752 **	-0.0281	0.0522 **	0.0036 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	0.2249	0.9865**	0.0004
Fishing and trapping	0.2417 **	0.8147 **	-0.1995 *	0.3574 **	0.0658 **	0.0034 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	0.0128	1.0565**	0.0005
Logging and forestry	-0.0229	1.0076 **	0.0713 *	0.7955 **	0.031 **	0.0043 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	-0.1349	0.9848**	0.0003
Mining	0.7207 **	0.5918 **	-0.0407	-0.0834	0.0689 **	0.0026 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	0.0043	1.3125**	0.0004
Crude petroleum and natural gas	-1.9087**	1.7075 **	0.796 **	-0.2272	0.02 **	0.003 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	-0.0016	-0.2012	0.0002
Quarry and sand pit	-0.1144**	0.9567 **	0.0946 **	-0.0951	0.0738 **	0.0021 *	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	-0.027	0.8424**	0.0005
Services incidental to mineral extraction	0.0241	1.0153 **	-0.0793	-0.0523	0.0449 **	0.0024 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	0.1283	1.0394**	0.0005
Food	-0.0334	1.0049 **	-0.0821	0.2132 **	0.0137 **	0.0027 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	-0.0926	0.9715**	0.0004
Beverage	-0.0308	0.7305 **	0.2614 **	0.3707 **	0.0133 **	0.0024 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	-0.1001	0.6997**	0.0006
Tobacco	-0.0288	1.1418 **	-0.361 **	0.4484 **	0.0128 **	0.004 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	-0.1071	1.113 **	0.0006
Rubber products	0.003	0.8123 **	-0.0866	0.1536 **	0.0209 **	0.0015	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	1.0156	0.8154**	0.0005
Plastic products	-0.003	1.0119 **	0.0502	0.2172 **	0.0222 **	0.0012	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	-1.034	1.009 **	0.0003
Leather and allied products	-0.0056	1.1328 **	0.1504	0.347 **	0.0082 **	0.0044 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	-0.5559	1.1272**	0.0005
Primary textile	-0.0309	0.8598 **	-0.0647	-0.0833**	0.0273 **	0.0025 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	-0.1	0.8289**	0.0006
Textile products	0.0104	1.0568 **	-0.111 **	0.0197	0.0174 **	0.0039 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	0.2964	1.0672**	0.0003
Clothing	0.0224	0.838 **	-0.1145**	0.1736 *	0.0069 **	0.0024 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	0.1378	0.8604**	0.0005
Wood	0.1873 **	1.0624 **	-0.1146**	0.0698	0.0252 **	0.0024 **	-0.015 **	0.0014	0.0045 **	0.0165	1.2497**	0.0004
Furniture and fixture	0.0089	0.9999 **	0.0904	0.1347 **	0.0121 **	0.0032 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	0.346	1.0089 *	0.0003
Paper and allied products	-0.1047	1.2892 **	0.1033	-0.4068**	0.0708 **	0.0012	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	-0.0295	1.1845**	0.0004
Printing and publishing	0.0483	0.8279 **	0.2317 **	0.0896	0.0085 **	0.003 **	-0.0155 *	0.0014	0.0045 **	0.064	0.8761**	0.0003
Primary metal	0.0133	0.9724 **	-0.1333 *	-0.0556 *	0.0725 **	0.0023 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	0.2324	0.9857**	0.0004
Fabricated metal products	0.0271	0.8283 **	0.005	-0.0003	0.0145 **	0.0039 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	0.1138	0.8554**	0.0003
Machinery	0.0715 **	0.9794 **	-0.0616 *	0.2377 **	0.009 **	0.0037 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	0.0432	1.0509**	0.0004
Transportation equipment	0.0256	1.0025 **	-0.1787 *	0.1588 *	0.0088 **	0.0013	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	0.1208	1.028 **	0.0003
Electrical and electronic equipment	0.0346	0.8719 **	0.1093	0.2014 **	0.0007	-0.0008	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	0.0894	0.9065**	0.0005
Non-metallic mineral products	0.0236	1.1043 **	0.0772 **	-0.0339	0.0545 **	0.0043 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	0.1311	1.1279**	0.0004
Refined petroleum products	-0.0528	0.7688 **	0.015	-0.0184	0.0339 **	0.004 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	-0.0584	0.7159 **	0.0004
Chemical industries	-0.1177**	1.1108 **	-0.2255 *	-0.1589**	0.0617 **	0.0022 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	-0.0262	0.9931 **	0.0004
Other manufacturing	-0.0075	1.103 **	-0.0378	0.2024 **	0.0103 **	0.0022 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	-0.41	1.0955 **	0.0004
Construction	-0.0753**	1.1911 **	-0.0062	0.1588 **	0.0115 **	0.0024 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	-0.041	1.1158 **	0.0004
Transportation industries	-0.0599	1.061 **	-0.353 **	0.0417	0.103 **	0.0028 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	-0.0515	1.0011 **	0.0003
Pipeline transport	0.1259	-0.1095	0.4059 **	0.3446 **	0.0475 **	0.0021	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	0.0245	0.0164	0.0002
Storage and warehousing	-0.0165	0.7713 **	0.2385 **	0.1322	0.0339 **	0.0031 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	-0.1875	0.7548 **	0.0003
Communication	0.0344 *	0.6909 **	-0.2756**	0.4994 **	0.0109 **	0.0019	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	0.0899	0.7253 **	0.0002
Other utility	0.168 **	0.9409 **	0.3237 *	0.4955 **	0.0623 **	0.0025 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	0.0184	1.1089 **	0.0004
Wholesale trade	-0.1052**	1.1828 **	-0.1674 *	-0.5448 *	0.0292 **	0.0013	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	-0.0294	1.0776 **	0.0003
Retail Trade	0.0798**	0.8716**	-0.1516**	0.512**	0.0359**	0.002*	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	0.0387	0.9514**	0.0004
Total (37 Industries)	-0.1386**	1.0222 **	0.0956 **	0.1065 **	0.0564 **	0.0023 **	-0.0155**	0.0014	0.0045 **	0.0281	0.9618 **	0.0003

Note: * and ** mean statistically significant at 5 and 10 percent, respectively.

It is also informative to compare some of the elasticity estimates across time periods and industries. We report measures separated into pre- and post-1990s, in an attempt to identify a possible break in public awareness or institutional pressure with regard to the effects of greenhouse gases. If anything, the $\varepsilon_{G,B}$ value for the pre- and post-1990s show a slight reduction in the proportional cost savings of B disposal: $\varepsilon_{G,B} = -0.1504; -0.1208$, respectively.

The estimates of multifactor productivity growth rates require estimates of ray scale economies, aggregated good and bad outputs and technical change. The required cost elasticities are taken from the parameter estimates of the translog cost function discussed earlier. Figure 2 presents the multifactor productivity indices for the period 1981-1996 for the 37 industries considered in our empirical analysis. The estimates used in figure 1 are weighted averages of all industries in the sample. In other words, multifactor productivity indices for each industry were estimated and the weighted average of these estimates is presented in Figure 2. The standard framework that excludes bad output underestimates productivity growth by almost 0.5 percentage points per year over the 1981-1996 period.[4]

Figure 2: Multifactor Productivity Compounded Growth Rate Under Alternate Production Frameworks: Business Sector



[4] Under the constant returns to scale assumption that is consistent with the growth accounting framework, the exclusion of greenhouse gases emissions leads to an under estimation of 0.2 percentage points (see Harchaoui *et al* 2002).

V. Concluding Remarks

To a remarkable extent, environmental protection is generally perceived in the public debate as imposing costly burdens on the economy, stifling innovation and lowering productivity. However, the conclusion that environmental protection generally leads to lower productivity performance is in fact an artifact in the way the productivity measure is implemented—a methodology that counts only the cost of environmental protection but ignores the production of a better environment, say in terms of emissions reduction.

For many years, many studies hampered by this methodological shortcoming, concluded that in general environmental protection leads to a decline in the productivity performance. However, a recent strand of the economic literature, to which this paper belongs, recognizes that some outputs are valuable when sold and others are damaging when released (see Murtough *et al.* 2001 for a review of this literature). When the productivity framework considers an industrial process in its entirety, environmental protection is no longer seen to necessarily hamper productivity performance.

This study uses a detailed model of the production structure in the Canadian business sector to measure the private costs that producers have incurred in the past two decades as they reduced greenhouse gas emissions. We find the private implicit or shadow value of emissions to be significant, larger for the mining sector and increasing in magnitude over time. Firms do not choose their production and output mix as if the environment was free and valueless. This means that firms incur, or perceive, costs from GHG emissions, beyond their private input bill. These costs may have resulted from regulatory pressure or from public opinion, or from anticipations of future regulatory or public pressure.

Failing to account for greenhouse gas emissions generally leads to an underestimate of productivity growth. Cost changes associated with emission reductions are interpreted as productivity losses in conventional measures. We have computed a multifactor productivity index that includes emissions as input. That index grows faster by half a percentage point a year over the 1981-1996 period than the conventional index.

In conclusion, we have shown that the methodology used in this paper has the major advantage that it can readily incorporate unpriced environmental impacts into productivity growth estimates. A disadvantage is that the methodology is data intensive and technically challenging. The value of the new productivity estimate that the experimental approach produces depends on the shadow price of CO_2 emissions. Because it is derived from a multivariate statistical analyses, there is an inherent uncertainty in the accuracy of the shadow price. It should be recognized that the results of these analyses are therefore subject to error. The size of the error will depend on the accuracy of the functional forms used, the type of econometric analysis employed and the accuracy of the data that are utilized.

Nevertheless, the approach utilized in this study can provide useful insights into how estimated productivity growth can be affected by the environmental impacts of economic activity. There may be scope to extend our analysis to incorporate other environmental by-products. This would require, for example, the measurement and consideration of other pollutants.

References

Cline, W.R. 1992. The Economics of Global Warming, Washington, DC.: Institute for International Economics.

Dachraoui, K. and T.M. Harchaoui. 2002. 'Water Use, Shadow Prices and Canadian Business Sector Productivity Performance: An Efficiency Frontier Approach,' in process.

Färe, R. S. and Grosskopf. 1998. 'Shadow Pricing of Good and Bad Commodities,' *American Journal of Agricultural Economics* 80: 584-90.

Färe, R. and S. Grosskopf and S. Yaisawarng. 1993. 'Derivation of Shadow Prices for Undesirable Outputs: A Distance Function Approach,' *Review of Economics and Statistics* 72: 374-80.

Gollop, F. and G. Swinand. 2001. 'Total Resource Productivity: Accounting for Changing Environmental Quality,' in C. Hulten, E. Dean, M. Harper (eds.); *New Directions in Productivity Analysis*, Studies in Income and Wealth, Volume 63.

Gu, W., M. Kaci, J.-P. Maynard and M.-A. Sillamaa. 2002. "*The Changing Composition of the Canadian Workforce and Its Impact on Productivity*", in Baldwin, J.R. and T.M. Harchaoui: *Productivity Growth in Canada*, 2002, Catalogue No. 15-204-XPE. Microeconomic Analysis Division, Statistics Canada. Forthcoming.

Hailu, A. and T.S.Veeman. 2000. 'Environmentally sensitive productivity analysis of the Canadian pulp and paper industry 1959-1994; an input distance function approach', *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 40, pp. 251-274.

Harchaoui, T.M., D. Kabrelyan, and R. Smith. 2002. 'Accounting for Greenhouse Gases in the Standard Productivity Measure.' *Economic Analysis Series No. 7.* Ottawa: Analytical Studies Branch, Statistics Canada.

Murtough, G., D. Appels, A. Martysek and C.AK. Knovell. 2001. Greenhouse Gas Emissions and the Productivity Growth of Electricity Generators, Productivity Commission Staff Research Paper, AusInfo, Canberra.

Nordhaus, W.D. 1994. Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change, Cambridge: The MIT Press.

Panel on Policy Implications of Greenhouse Warming 1992. Policy Implications of Greenhouse Warming: Mitigation, Adaptation, and the Science Base, Washington, DC: National Academy Press.

Pittman, R.W. 1983, 'Multilateral productivity comparisons with undesirable outputs', *Economic Journal*, vol. 93, pp. 883–891.

Statistics Canada 1997. Econnections: Linking the Environment and the Economy, Concepts, Sources and Methods of the Canadian System of Environmental and Resource Accounts, Catalogue 16-505-GPE.

ECONOMIC ANALYSIS (EA)
RESEARCH PAPER SERIES

No. 001 *A Comparison of Canada-U.S. Economic Growth in the Information Age, 1981-2000: The Importance of Investment in Information and Communication Technologies,* Philip Armstrong, **Tarek M. Harchaoui, Chris Jackson and Faouzi Tarkhani** **(March 1, 2002)**

No. 002 *Purchasing Power Parity: A Canada/U.S. Exploration,* **Beiling Yan** **(May 2002)**

No. 003 *The Trend to Smaller Producers in Manufacturing: A Canada/U.S. Comparison,* **John Baldwin, Ron S. Jarmin, Jianmin Tang** **(May 2002)**

No. 004 *Foreign Affiliate Trade Statistics – 1999: How Goods and Services are Delivered in International Markets,* **Colleen Cardillo** **(April 2002)**

No. 005 *Regional Manufacturing Employment Volatility in Canada: The Effects of Specialization and Trade,* **John R. Baldwin and W.Mark Brown** *(forthcoming)*

No. 006 *Growth History, Knowledge Intensity and Capital Structure in Small Firms,* **Guy Gellatly, Allan Riding and Stewart Thornhill** *(forthcoming)*

No. 007 *Accounting for Greenhouse Gases in the Standard Productivity Framework,* **Tarek Harchaoui, Dmitry Kabrelyan and Rob Smith** **(November 1, 2002)**

No. 008 *Overcoming Distance, Overcoming Borders: Comparing North American Regional Trade,* **W.Mark Brown** *(forthcoming)*

No. 009 *Assessing the Impact of Greenhouse Gas Emissions on Canada's Productivity Growth, 1981-1996: An Expermental Approach,* **Tarek M. Harchaoui and Pierre Lasserre** **(November 1, 2002)**

Analyse Économique

Documents de recherche

L'impact des émissions de gaz à effet de serre sur la croissance de la productivité au Canada, 1981-1996 : une approche expérimentale

par Tarek M. Harchaoui et Pierre Lasserre

N° 009

Statistics Canada Statistique Canada

Canada

SÉRIE DE DOCUMENTS DE RECHERCHE SUR L'ANALYSE ÉCONOMIQUE

La série de documents de recherche sur l'analyse économique permet de faire connaître les travaux de recherche effectués par le personnel du Secteur des études analytiques et des comptes nationaux, les boursiers invités et les universitaires associés. La série de documents de recherche a pour but de favoriser la discussion sur un éventail de sujets tels que les répercussions de la nouvelle économie, les questions de productivité, la rentabilité des entreprises, l'utilisation de la technologie, l'incidence du financement sur la croissance des entreprises, les fonctions de dépréciation, l'utilisation de comptes satellites, les taux d'épargne, le crédit-bail, la dynamique des entreprises, les estimations hédoniques, les tendances en matière de diversification et en matière d'investissements, les différences liées au rendement des petites et des grandes entreprises ou des entreprises nationales et multinationales ainsi que les estimations relatives à la parité du pouvoir d'achat. Les lecteurs de la série sont encouragés à communiquer avec les auteurs pour leur faire part de leurs commentaires, critiques et suggestions.

Les documents sont diffusés principalement au moyen d'Internet. Ils peuvent être téléchargés gratuitement sur Internet, à www.statcan.ca. Les documents faisant partie de la série sont diffusés dans les bureaux régionaux de Statistique Canada et aux coordonnateurs statistiques provinciaux.

Tous les documents de recherche de la Série d'analyse économique, passent à travers un processus d'évaluation des pairs et institutionnel, afin de s'assurer de leur conformité au mandat confié par le gouvernement à Statistique Canada en tant qu'agence statistique et de leur pleine adhésion à des normes de bonne pratique professionnelle, partagées par la majorité.

Les documents de cette série comprennent souvent des résultats issus d'analyses statistiques multivariées ou d'autres techniques statistiques. Il faut l'admettre, les conclusions de ces analyses sont sujettes à des incertitudes dans les estimations énoncées.

Le niveau d'incertitude dépendra de plusieurs facteurs, notamment : de la nature de la forme fonctionnelle de l'analyse multivariée utilisée; de la pertinence des hypothèses statistiques sous-jacentes au modèle ou à la technique; de la représentativité des variables prises en compte dans l'analyse; et de la précision des données employées.

Toute interprétation des résultats reproduits à l'intérieur des travaux de cette série doit reconnaître le fait que l'analyse empirique comprend un certain niveau d'incertitude que les lecteurs devraient prendre en compte.

Comité de révision des publications
Direction des études analytiques, Statistique Canada
24^{e} étage, Immeuble R.-H. Coats
Ottawa, Ontario, K1A 0T6
(613) 951-1804

L'impact des émissions de gaz à effet de serre sur la croissance de la productivité au Canada, 1981-1996 : une approche expérimentale

par

Tarek M. Harchaoui*
Statistique Canada
Pierre Lasserre
Université du Québec à Montréal

11F0027 N° 009
ISSN : 1703-0412
ISBN : 0-662-87949-X

Division de l'analyse micro-économique
24ième étage, Immeuble R.H. Coats
Ottawa, K1A 0T6
Statistique Canada
Télécopieur: (613) 951-5403
* (613) 951-9856
Courriel : harctar@statcan.ca

1 novembre 2002

Le nom des auteurs est inscrit selon l'ordre alphabétique.

Ce document reflète les opinions des auteurs uniquement et non celles de Statistique Canada.

Les auteurs remercient John Baldwin et les participants au 7ème European Workshop on Efficiency and Productivity Analysis, (Oviedo, Spain) et le 11ème annual meeting on the Canadian resource and environmental economics, Brock University, (St.-Catharines, Ontario) pour leurs commentaires.

Also available in English

Table des matières

RÉSUMÉ ..... **IV**

SOMMAIRE ..... **V**

I. INTRODUCTION **1**

II. CADRE THÉORIQUE **3**

1. COÛTS ET PRIX FICTIFS 3
2. ÉCHELLE, GAMME ET DIVERSES PROPRIÉTÉS TECHNOLOGIQUES PERTINENTES 5
3. PRODUCTIVITÉ MULTIFACTORIELLE 5

III. APPLICATION ÉCONOMÉTRIQUE **7**

1. SPÉCIFICATION DU MODÈLE 7
2. LES DONNÉES ET L'ANALYSE DE TENDANCE 9
   A) La méthodologie *9*
   B) L'analyse de la tendance des données *11*
3. ESTIMATION 14

IV. RÉSULTATS EMPIRIQUES **15**

1. SPÉCIFICATIONS ET VÉRIFICATION D'HYPOTHÈSES 16
2. DIVERSES QUESTIONS D'ESTIMATION 20
   A) Corrélation fallacieuse *20*
   B) Question de la fixité du capital *20*
3. INTERPRÉTATION ÉCONOMIQUE 21

V. REMARQUES EN GUISE DE CONCLUSION **24**

BIBLIOGRAPHIE **26**

Résumé

Malgré les progrès réalisés dans la mesure de la productivité, il y' eut peu d'effort pour représenter les émissions de sous-produits nocifs dans un cadre de production jointe. Cette étude effectue une telle représentation. Elle propose un cadre expérimental qui dépend de façon cruciale des estimations du prix fictif des émissions. Ces estimations de prix implicite découlent de l'estimation d'une fonction de coût pour chaque industrie du secteur canadien des entreprises. En faisant appel à une base de données détaillée qui prend en compte la production et les émissions de gaz à effet de serre pour la période 1981-1996, nos résultats suggèrent que la valeur fictive de celles-ci est significativement différente de zéro. Nos résultats indiquent aussi que, sous une technologie à rendements non constants, omettre de tenir compte ces émissions cause une sous-estimation de la croissance de la productivité.

Mots clés : Prix fictifs, émissions de gaz à effet de serre, productivité

Sommaire

Par son incidence positive sur le revenu réel, la croissance de la productivité contribue de façon importante à l'amélioration du niveau de vie. Toutefois, il est impossible de jauger avec exactitude le lien entre les estimations de la croissance de la productivité et l'augmentation réelle du niveau de vie lorsque les mesures de la productivité ne tiennent pas compte des effets environnementaux de la production. Malheureusement, les estimations de la croissance de la productivité font souvent abstraction des répercussions environnementales de l'activité économique.

Idéalement, les estimations de la croissance de la productivité devraient tenir compte de tous les intrants et les produits associés à un processus de production, y compris les changements qui surviennent dans l'environnement. Dans la pratique, on estime normalement la croissance de la productivité au moyen de méthodes qui ne tiennent compte que des intrants et des produits dont le prix est disponible. Comme la plupart des répercussions environnementales ne sont pas échangées sur le marché, on peut rarement en observer le prix, de sorte que les estimations de la croissance de la productivité ont tendance à en faire abstraction.

Dans la présente étude, nous élaborons et appliquons une mesure expérimentale de la croissance de la productivité qui peut inclure les répercussions environnementales. Pour ce faire, l'étude construit des estimations du prix fictif ou implicite des émissions pour lesquelles le prix n'est normalement pas disponible. La méthode employée s'appuie sur la technique établie du modèle fondé sur les fonctions de coût et nous utilisons des données qui établissent un lien entre les émissions de gaz à effet de serre et la production des branches d'activité au cours de la période 1981 à 1996. Nous appliquons notre méthode à l'un des plus important enjeux environnementaux qui se posent pour le Canada, soit les émissions de gaz à effet de serre; il s'agit d'une application relativement nouvelle.

Au moyen de notre méthode, nous estimons les élasticités de réductions partielles. Ces élasticités montrent le changement proportionnel des coûts privés requis pour réduire les émissions de gaz à effet de serre de 1 %, tous les autres facteurs étant maintenus constants par ailleurs. Basées sur les relations entre les coût de production et les quantités d'émissions, les élasticités estimées sont en moyenne de -0,14 et varient notablement d'une branche d'activité à l'autre. Cette variation tient à ce que différentes branches d'activité dotées de structures technologiques différentes ont réagi différemment dans le passé aux changements dans les émissions de gaz à effet de serre. Une élasticité de -0,14 indique qu'une réduction de 1 % des émissions de gaz à effet de serre requiert une augmentation de 0,14 % des coûts privés de la branche d'activité en cause.

On constate que les émissions de gaz à effet de serre sont des substituts de l'intrant capital, ce qui indique qu'il faut une plus grande utilisation de capital pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Par contre, l'intrant énergie est un complément des émissions de gaz à effet de serre, mais le lien entre l'intrant travail et les gaz à effet de serre n'est pas statistiquement significatif.

Aux fins de comparaison, nous avons estimé la croissance de la productivité en excluant et en incluant les émissions de gaz à effet de serre dans un cadre à rendements d'échelle non constants. Dans l'ensemble, nos résultats montrent que, lorsqu'on fait abstraction des émissions de gaz à effet de serre, on sous-estime de 21 % en moyenne la croissance de la productivité du secteur des entreprises au Canada durant la période 1981 à 1996.

Le cadre utilisé dans le présent document nous permet de tenir compte des répercussions environnementales dont le prix n'est pas établi dans nos estimations de la croissance de la productivité. Cette approche apporte des éclaircissements utiles sur l'incidence des répercussions environnementales de l'activité économique sur les estimations de la croissance de la productivité. Un désavantage est que la méthodologie est intensive en termes de données, qui plus est, techniquement ardue. L'estimation de la croissance de la productivité produite par cette approche expérimentale dépend du prix fictif des CO_2. Parce qu'elle découle de l'analyse statistique multivariée, il y a une incertitude inhérente quant à la précision de ce prix fictif. Nous devons reconnaître que les résultats issus de ces analyses font l'objet d'une erreur. La taille de l'erreur dépendra de la nature des formes fonctionnelles utilisées, le type d'analyse économétrique employée et la précision des données utilisées.

I. Introduction

Les émissions de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane, oxyde nitreux et hydrocarbures chlorofluorés) et la perspective d'un changement climatique mondial ont servi de motif au lancement d'un vaste programme de recherche visant à préciser, à modéliser et à évaluer l'effet de l'augmentation de la température moyenne sur la planète. Les coûts économiques et environnementaux des émissions de gaz à effet de serre (réchauffement de la planète) représentent une source croissante de préoccupation. Divers groupes ont demandé que des mesures internationales concertées soient prises pour réduire les émissions de CO_2. En réponse à cette demande, des propositions de réduction des émissions ont été faites lors de diverses conférences internationales, notamment les conférences mondiales sur le climat tenues à Toronto (1988) et au Caire (1990).

La reconnaissance que l'activité économique contribue, par la voie des gaz à effet de serre, à un réchauffement planétaire qui pourrait entraîner des coûts, a déclenché un effort de recherche important. Cet effort s'est concentré principalement sur la modélisation climatique et physique, et l'attention accordée aux questions économiques associées au changement climatique ne s'est généralisée qu'au cours de la dernière décennie. Les premières analyses économiques portaient surtout sur l'efficacité relative de divers instruments stratégiques utilisés pour atteindre les cibles établies de réduction des émissions au niveau macroéconomique.

Plusieurs auteurs ont résumé ce que l'on sait et ce qu'il reste à découvrir au sujet du réchauffement planétaire (*Panel on Policy Implications of Greenhouse Warming* (1992); Cline (1992) et Nordhaus (1994)). Les dimensions physiques, biologiques et sociales du réchauffement planétaire sont nombreuses, mais pour élaborer une politique gouvernementale, des renseignements sont nécessaires dans quatre domaines : a) la preuve que le réchauffement de la planète a eu lieu ou aura vraisemblablement lieu dans l'avenir, b) prédictions quant à l'importance et au moment du réchauffement planétaire, c) estimations des effets néfastes du réchauffement planétaire et d) estimations du coût des mesures à prendre pour réduire le réchauffement planétaire ou pour en atténuer les effets néfastes. La présente étude rentre dans la dernière catégorie. Plus précisément, elle a pour but de déterminer le coût (privé) de la réduction des émissions de gaz à effet de serre selon la branche d'activité en traitant ces émissions comme un élément à part entière du processus de production.

Cette étude développe et applique une mesure expérimentale de la croissance de la productivité qui incorpore les impacts environnementaux pour lesquels les prix ne sont pas disponibles. La méthode requiert une estimation du prix implicite ou fictif des émissions. La méthodologie pour construire ce prix implicite repose sur la technique d'estimation d'un modèle de fonction de coût du secteur canadien des entreprises. Elle est appliquée à une des questions environnementales les plus sérieuses à laquelle fait face le Canada — les émissions de gaz à effet de serre.

Les économistes ont tenté de concevoir un indicateur de productivité qui prend en compte la production des biens nocifs. Parce que les mesures de la productivité multifactorielle ont été étroitement associées aux changements du niveau de vie, il est naturel de se demander si les augmentations nettes (c'est-à-dire après avoir pris en compte n'importe quelle augmentation des

intrants) dans la production commercialisée sont les seules choses qui devraient compter comme gains dans notre niveau de vie. Pittman (1983) a proposé un indice multilatéral de productivité qui inclut, à la fois, les productions désirable et non désirable et où les émissions sont évaluées en termes de prix fictifs. Cette approche représente un progrès important dans la mesure de la productivité qui n'a été suivie que récemment. Ses résultats empiriques ont montré des différences substantielles entre les mesures de productivité conventionnelles et celles élargies qui sont proposées. Plus récemment, les contributions de Färe et Grosskopf (1998) et Gollop et Swinand (2001) admettent le principe que les changements dans les biens qui n'ont pas de prix devraient être considérés dans l'évaluation de la performance et indiquent comment ils devraient être évalués dans les indices de productivité.

Färe *et al.* (1993) ont tenté de dériver, au niveau de l'établissement, des prix fictifs des émissions égaux au coût de la production désirable qui doit être sacrifiée pour réduire la production non désirable d'une unité. Une méthodologie similaire a été utilisée par Hailu et Veeman (2000) pour construire des estimations de productivité multifactorielle des industries de bois et papiers. La croissance de la productivité multifactorielle ajustée à laquelle ils ont abouti est plus élevée que la mesure conventionnelle.

Dans le présent article, nous visons à établir une base pour l'intégration et l'extension de la littérature sur l'incidence des sous-produits nocifs sur la performance économique, en nous concentrant surtout sur leur valeur privée implicite. Les avantages que procure aux producteurs l'utilisation de l'environnement à titre d'intrant gratuit se traduisent par une production plus importante (ou un coût plus faible des intrants pour un volume donné de production) que si ces derniers avaient réduit la quantité de sous-produits « nocifs » associés à la production. Autrement dit, la réduction des émissions de gaz à effet de serre implique soit la diminution du volume de produits commercialisés (puisque les sous-produits « nocifs » sont liés aux produits « non nocifs ») ou l'augmentation des intrants (par substitution du facteur énergie ou d'un autre moyen d'élimination des déchets). Donc, l'adoption de mesures exigeant la réduction des émissions de gaz à effet de serre imposera des coûts privés au secteur des entreprises.

La détermination de la valeur fictive privée des émissions de gaz à effet de serre et du lien entre ces émissions et la demande d'autres intrants et d'autres composantes de la structure de production nécessite la spécification d'un modèle estimable détaillé du coût de production. Pour ce faire, nous avons utilisé une base de données riche en panel au niveau de la branche d'activité (37 branches d'activité pour la période allant de 1981 à 1996) produite par les comptes canadiens de productivité à laquelle nous avons annexé des données sur les émissions de gaz à effet de serre et le capital naturel du programme des statistiques sur l'environnement. Les estimations expérimentales de l'intrant capital total, qui combinent à la fois le stock de capital produit et le stock de capital naturel, ont été construites et appliquées dans notre travail empirique. L'estimation économétrique du modèle avec cette base de données permet la construction du prix fictif ou implicite des émissions de gaz à effet de serre ainsi que la relation qu'il entretient avec la demande des intrants, les possibilités de substitution technologique et la croissance de la productivité.

Nos résultats suggèrent que la valeur fictive des émissions de gaz à effet de serre est significative, qu'elle est la plus importante pour le secteur du pétrole brut et du gaz naturel, et qu'elle augmente au fil du temps. Les résultats indiquent que les émissions de gaz à effet de serre sont des substituts à l'intrant capital et complémentaires à l'intrant énergie. Mais la relation entre les émissions de gaz à effet de serre et l'intrant travail n'est statistiquement pas significative. Les résultats suggèrent aussi qu'en moyenne les estimations conventionnelles de la productivité sous estiment la croissance de la productivité de 21 % pour la période 1981-1996.

Le reste de l'article est présenté comme suit. La section II est consacrée au cadre théorique; la section III donne des précisions sur les données et l'application économétrique; la section IV fournit les résultats et leur interprétation et la section IV, les conclusions.

II. Cadre théorique

1. Coûts et prix fictifs

La mesure des coûts et des bénéfices des émissions de gaz à effet de serre (appelées brièvement « émissions » dans la suite de l'article) et des dommages qu'elles causent à l'environnement comprend la modélisation explicite de la structure de production ainsi que la prise en compte de la grande diversité des produits (revenus) et des intrants (coûts) que reflètent les données. Notre base de données au niveau de la branche d'activité comprend des renseignements sur la production d'un bien « commercialisable ou non nocif » et d'un sous-produit « nocif ou indésirable » connexe (émissions), ainsi que l'utilisation de quatre intrants.

Nous fondons notre analyse sur la représentation de la demande des intrants axée sur la fonction de coût dans le modèle de production du secteur des entreprises du Canada. Aux fins de l'application empirique, nous ajoutons à cette fonction de coût des effets fixes de branche d'activité et de temps pour tenir compte des différences entre branches d'activité et entre périodes de référence. Ce cadre de modélisation détaillé nous permet d'étudier un riche ensemble d'interactions entre la production de biens, les émissions et la demande des intrants.

Plus précisément, notre fonction de coût total prend la forme générale $G(Y,B,w,D,t)$ où Y représente le bien produit, B représente les sous-produits « nocifs », w représente un vecteur des prix des intrants (travail, L; capital, K ; énergie, E ; autres intrants intermédiaires, M), D représente un vecteur de variables binaires correspondant aux effets fixes pour chaque branche d'activité et t est une tendance temporelle. La fonction de coût total mesure le total des dépenses de l'industrie pour tous les intrants qu'elle paye explicitement, c'est-à-dire le travail, le capital, l'énergie, les matières premières et les services. Si le comportement de l'entreprise indique qu'elle attribue une valeur négative aux sous-produits nocifs, ce coût implicite n'entre pas dans la définition de G , quoique, comme nous l'expliquons plus loin, on peut l'en déduire.

La variable B est incluse dans la fonction de coût pour tenir compte du fait que les sous-produits nocifs sont produits en même temps que Y, ou, inversement, que l'environnement est utilisé comme un intrant par les producteurs lorsqu'ils rejettent les effluents dans l'atmosphère. La production de sous-produits nocifs permet de fabriquer une plus grande quantité de biens commercialisables Y à partir d'une combinaison donnée d'intrants payés, ou bien, l'utilisation des émissions comme intrant permet la production d'une quantité donnée de bien Y à un coût plus faible que celui des intrants payés.

Nous nous concentrons sur les coûts privés de production et traitons indifféremment les émissions comme un intrant du processus de production ou comme un produit dont la valeur négative n'est pas intégrée entièrement dans les revenus de l'entreprise. La valeur fictive privée z_B associée aux sous-produits nocifs, c'est-à-dire l'économie de coût (l'intrant) lorsque des émissions sont permises peut être mesurée en tant qu'effet sur les coûts $-\frac{\partial G}{\partial B} = z_B$. Cette valeur fictive reflète le montant marginal que le producteur subit à la suite de la réduction de B. Nous anticipons que $z_B < 0$.

Dans notre cadre, ces valeurs fictives englobent les motivations du comportement passé qui sous-tendent le choix de procédés de production efficaces, ainsi que les possibilités de changement de technologie. Donc, z_B devrait être interprété comme un coût *privé* pour les producteurs, puisqu'il représente le montant de l'augmentation du coût des autres intrants (pour un niveau donné de production) suite à la réduction unitaire des émissions.

Étant donné le lemme de Shephard, la demande de l'intrant j est $X_j = \frac{\partial G}{\partial w_j}$ (où w_j représente le prix du marché de l'intrant j). Alors, l'effet d'une variation de B sur la demande de l'intrant j (effet de coût de deuxième ordre) mesure l'interdépendance de l'usage de l'intrant et de la possibilité de produire des émissions de gaz à effet de serre. Par exemple, comme les sous-produits nocifs sont souvent liés directement à la consommation d'énergie, la diminution de E serait associée à une diminution de B (tandis qu'une augmentation de la plupart des autres intrants pourrait être nécessaire pour réduire les émissions).

La valeur fictive des émissions, c'est-à-dire $z_B = -\frac{\partial G}{\partial B}$, est une relation analogue au lemme de Shephard. En général, il s'agit d'une fonction de tous les arguments de la fonction $G(\cdot)$. Il découle du théorème de Young que l'effet sur z_B d'une variation du prix d'un intrant est symétrique à l'effet d'une variation de B sur la demande de X_j :

$$-\frac{\partial z_B}{\partial w_j} = \frac{\partial^2 G}{\partial B \partial w_j} = \frac{\partial^2 G}{\partial w_j \partial B} = \frac{\partial X_j}{\partial B}.$$

2. *Échelle, gamme et diverses propriétés technologiques pertinentes*

Notre cadre nous permet aussi de mieux comprendre la sous-additivité des coûts (réduction des coûts) qui découle de la production d'une variété de produits (économies de gamme ou de diversification) ou d'une plus grande échelle de production (économies d'échelle globales). Les économies de gamme (ou complémentarité des coûts), ont lieu lorsque la production commune (production jointe) fait baisser les coûts agrégés. Nous définissons les économies d'échelle globales (EEG), c'est-à-dire une mesure de l'élasticité des coûts par rapport à la production totale lorsqu'une entreprise augmente sa production le long d'un rayon partant de l'origine, en maintenant constantes les proportions des divers produits, comme étant

$$EEG = \frac{\partial \ell nG}{\partial \ell nY} + \frac{\partial \ell nG}{\partial \ell nB} = \varepsilon_{G,Y} + \varepsilon_{G,B}.$$

Si EEG est égal à (plus grand que) (inférieur à) 1, la production de ce vecteur de produits est caractérisée par un rendement d'échelle constant (décroissant) (croissant).

Les économies de gamme (EG), un deuxième indicateur de la mesure dans laquelle la production conjuguée des produits donne lieu à des économies, peuvent être exprimées en fonction des effets de coût de deuxième ordre

$$EG = \frac{\partial^2 G}{\partial B \partial Y} = \frac{\partial MC_Y}{\partial B} \equiv \frac{\partial z_Y}{\partial B}.$$

La valeur fictive du bien commercialisable Y correspond à son coût marginal $\frac{\partial G}{\partial Y} = z_Y$; en effet, si la branche d'activité est concurrentielle, cette valeur devrait être égale au prix du bien commercialisable. La complémentarité des coûts sous-entend des économies de gamme si $EG < 0$; nous parlons de déséconomies de gamme si $EEG > 0$ et d'additivité des coûts si $EG = 0$.

L'élasticité $\varepsilon_{z_Y,B} = \frac{\partial \ell nMC_Y}{\partial \ell nB}$ mesure l'effet de la réduction des émissions sur le coût marginal; elle donne une idée des motifs privés qu'ont les producteurs d'adapter le niveau de leur production en fonction de réductions exogènes (c'est-à-dire. réglementaires) des émissions. Par exemple, dans les conditions de concurrence, dans la mesure où MC_Y augmente par rapport à Y, une augmentation de MC_Y due à une réduction des émissions donnerait à penser que la production de Y a été réduite. D'autres conditions du marché peuvent être analysées de la même façon.

3. *Productivité multifactorielle*

Les renseignements sur la structure de production obtenus aux sections qui précèdent sont importants si l'on veut mesurer la croissance de la productivité multifactorielle et ventiler cette croissance en fonction des économies d'échelle globales et des progrès techniques. Il est bien connu que la croissance de la productivité multifactorielle et le progrès technique ne coïncide qu'en cas de rendement d'échelle constant.

La dérivation complète de la fonction de coût total $G(Y,B,w,D,t)$ en fonction du temps donne

$$\frac{dG}{dt} = \sum_{j=1}^{4} \frac{\partial G}{\partial w_j}\frac{dw_j}{dt} + \frac{\partial G}{\partial Y}\frac{dY}{dt} + \frac{\partial G}{\partial B}\frac{dB}{dt} + \frac{\partial G}{\partial t}. \quad (1)$$

Si nous divisons $\frac{dG}{dt}$ par G, que nous utilisons $\frac{\partial G}{\partial w_j} = X_j$ (lemme de Shephard) et que nous réarrangeons les termes, nous obtenons

$$\dot{T} = \frac{\dot{G}}{G} - \sum_{j=1}^{4} \frac{w_j X_j}{G}\frac{\dot{w}_j}{w_j} - \dot{Q}, \quad (2)$$

où

$\frac{\dot{G}}{G} \equiv \frac{dG}{dt}\frac{1}{G}$ = variation totale de la fonction de coût,

$\dot{T} \equiv \frac{\partial G}{\partial t}\frac{1}{G}$ = déplacement proportionnel de la fonction de coût,

$\varepsilon_{GY} = \frac{\partial G}{\partial Y}\frac{Y}{G}$ = élasticité du coût du bien commercialisable Y,

$\varepsilon_{GB} = \frac{\partial G}{\partial B}\frac{B}{G}$ = élasticité du coût des sous-produits nocifs B,

et $\dot{Q}$ représente le taux agrégé de croissance de la production, c'est-à-dire la somme des taux de croissance des volumes de bien commercialisable et de sous-produits nocifs, pondérés par les élasticités du coût respectives, autrement dit

$$\dot{Q} = \varepsilon_{GY}\dot{Y} + \varepsilon_{GB}\dot{B}.$$

Si nous calculons la dérivée totale de $G = \sum_{j=1}^{4} w_j X_j$ en fonction du temps et que nous réarrangeons les termes, nous obtenons $\sum_j \frac{w_j X_j}{G}\frac{\dot{w}_j}{w_j} = \frac{\dot{G}}{G} - \sum_j \frac{w_j X_j}{G}\frac{\dot{X}_j}{X_j}$. Si nous introduisons cette équation par substitution dans (2), nous obtenons

$$-\dot{T} = \varepsilon_{GY}\dot{Y} + \varepsilon_{GB}\dot{B} - \dot{I}, \quad (3)$$

où $\dot{I} = \sum_j \frac{w_j X_j}{G}\frac{\dot{X}_j}{X_j}$ représente le taux pondéré de croissance de tous les intrants. Conformément aux pratiques courantes, nous définissons le taux de croissance de la productivité multifactorielle comme étant $\frac{\dot{PMF}}{PMF} = \dot{Q} - \dot{I}$, c'est-à-dire la croissance de la production agrégée que n'explique pas la croissance des intrants combinés. Si nous introduisons cette équation par substitution dans (3), nous obtenons la décomposition suivante du taux de croissance de la productivité multifactorielle :

$$\frac{\dot{PMF}}{PMF} = -\dot{T} + \dot{Q}[1-(\varepsilon_{GY} + \varepsilon_{GB})]. \tag{4}$$

Nous utiliserons cette formule pour calculer la productivité multifactorielle et décomposer cette dernière en ces deux facteurs fondamentaux : a) un déplacement de la fonction de coût due au progrès technique $(-\dot{T})$ et b) un mouvement le long de la fonction de coût due aux économies globales d'échelle $\dot{Q}[1-(\varepsilon_{GY} + \varepsilon_{GB})]$.

Dans le cadre susmentionné, les biens commercialisables et les sous-produits nocifs sont les uns et les autres traités comme exogènes. Donc, Y peut être évalué dans des conditions de concurrence parfaite ou imparfaite; pareillement, B peut varier en fonction de la réglementation, des pressions exercées par les groupes luttant pour la protection de l'environnement, etc.

Pour calculer la croissance de la productivité multifactorielle et pour la décomposer en ces diverses composantes susmentionnées, nous avons besoin de données sur la croissance des intrants et des produits, ainsi que des renseignements sur les diverses élasticités de coût dont il est tenu compte dans les formules susmentionnées. Les estimations économétriques de la structure de coût $G(\cdot)$ nous permettent d'obtenir ces renseignements.

III. Application économétrique

1. Spécification du modèle

La fonction de coût qui sous-tend le modèle dont nous avons donné un aperçu à la section qui précède prend la forme générale $G = G(Y, B, w_K, w_L, w_E, w_M, D_i, t)$ où la représentation vectorielle générale a été étendue afin de rendre explicites les arguments individuels de la fonction. Le vecteur des effets fixes D_i inclut 36 constantes particulières aux branches d'activité ainsi qu'un effet croisé pour chaque recoupement du prix d'un intrant et d'un volume de production.

L'application économétrique du modèle et la production de dérivées paramétriques et de mesures de l'élasticité nécessite avant tout que l'on spécifie une forme fonctionnelle pour $G(\cdot)$. Avant de le faire, nous exprimons tous les coûts et prix en fonction du prix des intrants, ce qui revient à imposer l'homogénéité des prix des intrants. Puis, nous choisissons une forme translog :

$$\begin{aligned}
\ell n\left(\frac{G_h}{w_{sh}}\right) = {} & \beta_{oh}(D_h) + \sum_i \beta_{ih}(D_h)\ell n v_{ih} + \beta_{Yh}(D_h)\ell n Y_h + \beta_{Bh}(D_h)\ell n B_h + \beta_{ih}(D_h)t \\
& + \beta_{YY}(\ell n Y_h)^2 + \beta_{BBh}(D_h)(\ell n B_h)^2 + \beta_{tt}t^2 \\
& + \sum_{i\neq j}\sum_j \beta_{ijh}(D_h)\ell n v_{ih}\ell n v_{jh} + \sum_i \beta_{iYh}(D_h)\ell n v_{ih}\ell n Y_h \\
& + \sum_i \beta_{iBh}(D_h)\ell n v_{ih}\ell n B_h + \sum_i \beta_{ith}(D_h)\ell n v_{ih}t + \beta_{YB}(D_h)\ell n Y_h \ell n B_h \\
& + \beta_{Yt}\ell n Y_h t + \beta_{Bt}\ell n B_h t.
\end{aligned} \tag{5}$$

Les indices i et j dénotent les intrants K, L et E, c'est-à-dire le capital, le travail et l'énergie, tandis que h est un indice de branche d'activité. v_{ih} représente le prix relatif de l'intrant, défini comme étant $v_{ih} = \frac{w_{ih}}{w_{mh}}$, où w_{mh} est l'indice des prix de Fisher des intrants intermédiaires[1]. À moins qu'il ne soit exprimé explicitement sous forme de fonctions de variables binaires de branches d'activité, comme nous le montrons plus loin, les coefficients β sont des paramètres constants.

Nous saisissons les différences entre branches d'activité grâce à la paramétrisation qui suit des coefficients β qui figurent dans (5) :

$$\beta_{oh}(D_h) = \beta_o + \sum_h \alpha_{oh} D_h \,,\ \beta_{ih}(D_h) = \beta_i + \sum_h \alpha_{ih} D_h \,,\ \beta_{Yh}(D_h) = \beta_Y + \sum_h \alpha_{Yh} D_h \,,$$
$$\beta_{Bh}(D_h) = \beta_B + \sum_h \alpha_{Bh} D_h \,,\ \beta_{th}(D_h) = \beta_t + \sum_h \alpha_{th} D_h \,,\ \beta_{ijh}(D_h) = \beta_{ij} + \sum_h \alpha_{ijh} D_h \,,$$
$$\beta_{iYh}(D_h) = \beta_{iY} + \sum_h \alpha_{iYh} D_h \,,\ \beta_{iBh}(D_h) = \beta_{iB} + \sum_h \alpha_{iBh} D_h \,, \text{ et } \beta_{ith}(D_h) = \beta_{it} + \sum_h \alpha_{ith} D_h \,.$$

Si nous dérivons (5) en fonction de $\ell n v_{ih}$ et que nous utilisons le lemme de Shephard, nous obtenons la part de l'intrant $i = K, L$ et E dans le coût total :

$$\omega_{ih} = \beta_i + \sum_i \beta_{ih}(D_h)\ell n v_{ih} + \sum_i \beta_{iYh}(D_h)\ell n Y_h + \sum_i \beta_{iKh}(D_h)\ell n B_h + \beta_{ith}(D_h)t \qquad (6)$$

où $\omega_{ih} = \frac{w_{ih} \cdot x_{ih}}{G_h}$. La part des matières premières et des services utilisés est calculée comme étant $\omega_{mh} = 1 - \sum_i \omega_{ih}$, puisque le modèle ne contient que $n-1$ équations indépendantes.

Le système d'équations (5), ainsi que les équations correspondants des parts (6) devraient satisfaire les conditions habituelles de régularité. Plus précisément, pour que la fonction de coût soit concave dans les prix intrants, sa matrice hessienne $\left[\frac{\partial G}{\partial w_i \partial w_j}\right]_{ij}$ des dérivées de deuxième ordre en fonction du prix des intrants doit être une matrice négative semi-définie. En outre, la fonction de coût devrait être non décroissante dans la production. L'homogénéité linéaire en prix est imposée par construction, mais peut être vérifiée par introduction du prix des intrants intermédiaires dans chaque équation de part et ajout des termes dans l'équation de coût de façon à ce que des équations augmentées des parts puissent encore être obtenues à partir de l'équation de coût par dérivation partielle, tel qu'indiqué.

Nous supposons aussi que les termes d'erreur liés aux équations susmentionnées optimisent les erreurs et sont caractérisés par une distribution conjointe à espérance nulle et à matrice des covariances symétrique définie positive.

[1] Pour agréger les indices des prix de Fisher des matières et des services, on se sert de la part du coût de ces deux intrants intermédiaires dans le coût total .

2. *Les données et l'analyse de tendance*

A) La méthodologie

Le modèle décrit en détail dans la section précédante est estimé en faisant appel aux données de 37 industries à deux chiffres du secteur canadien des entreprises pour la période 1981-1996 (voir le tableau 1 pour la liste des branches d'activité)[2].

Tableau 1. Branche d'activité du secteur des entreprises

	Branche d'activité
1	Agriculture et services agricoles
2	Pêche et piégeage
3	Exploitation forestière et services forestiers
4	Mines
5	Pétrole brut et gaz naturel
6	Carrières et sablières
7	Services miniers
8	Aliments
9	Boissons
10	Tabac
11	Produits en caoutchouc
12	Produits en matière plastique
13	Cuir et produits connexes
14	Textiles de première transformation
15	Produits textiles
16	Habillement
17	Bois
18	Meuble et articles d'ameublement
19	Papier et produits connexes
20	Imprimerie, édition et industries connexes
21	Première transformation des métaux
22	Fabrication des produits métalliques
23	Machinerie
24	Matériel de transport
25	Produits électriques et électroniques
26	Produits minéraux non métalliques
27	Produits raffinés du pétrole et du charbon
28	Industries chimiques
29	Autres industries manufacturières
30	Construction
31	Transport
32	Transport par pipelines
33	Entreposage et emmagasinage
34	Communications
35	Autres services publics
36	Commerce de gros
37	Commerce de détail

[2] Nous n'avons retenu que les branches d'activité pour lesquelles la production réelle est mesurée de façon raisonnablement exacte. Nous avons exclu les branches des intermédiaires financiers, des services immobiliers et de l'assurance, des services de divertissement et de loisirs, de l'hébergement et de la restauration, des services de santé et des services sociaux, des services aux entreprises, des services personnels et domestiques, et des services d'enseignement.

La base de données repose sur une version élargie de la base de données KLEMS développée sur une base expérimentale pour rendre possible des thèmes de recherche sur la productivité et les questions environnementales. La base de données KLEMS environnementale (KLEMS-E) contient de l'information, au niveau des industries depuis 1981 sur la valeur de la production, le coût des intrants primaires et intermédiaires ainsi que les indices en chaîne de Fisher de volume et de prix de la production et des intrants. Ces variables sont complétées par des variables environnementales sur les déchets (les émissions de gaz à effet de serre et les autres formes de pollution) et des intrants naturels tels que les actifs de ressources naturelles et l'utilisation de l'eau développés par les comptes de la statistique environnementale de Statistique Canada (Statistique Canada 1997).

Le développement de la base de données KLEMS-E vise à répondre à des questions d'éco-efficacité, une mesure du degré auquel l'activité économique utilise efficacement l'environnement comme un intrant gratuit. L'activité économique entretient une relation complexe avec l'environnement. Elle fournit les matières premières pour la production des biens et services qui rendent possible notre niveau de vie, mais elle crée aussi des dommages à l'environnement à travers l'activité des entreprises. Le cadre conventionnel de la productivité est parfois critiqué pour inclure la valeur des biens et services produits ainsi que le revenu généré au moyen de l'usage des actifs environnementaux, mais sans pour autant refléter le coût économique associé à leur épuisement ou le dommage occasionné par l'activité économique.

La base de données KLEMS-E renferme plusieurs caractéristiques :

Premièrement, KLEMS-E enregistre la valeur des actifs environnementaux définis comme étant à l'intérieur des limites du système de comptabilité nationale pour ce qui concerne les actifs. Pour qu'un actif fasse partie de ces limites, il doit avoir un propriétaire identifiable qui tire un bénéfice économique suite à l'usage de cet actif. Les actifs tels les réserves sous terre, les terrains, les forêts, l'eau, qui sont sous le contrôle d'un agent économique (souvent le gouvernement), font partie de actifs économiques environnementaux.

Deuxièmement, les données environnementales annexées à la base de données KLEMS sont généralement mesurées en termes physiques. Ceci est la cas pour les émissions de gaz à effet de serre, la production non désirable retenue dans la cadre de la présente étude, et pour l'usage de l'eau et les déversements d'eau exploité dans une autre étude (voir Dachraoui et Harchaoui, en cours). La valeur des émissions de gaz à effet de serre est dérivée implicitement en utilisant les prix implicites construits dans la présente étude au moyen de la technique économétrique. Quant aux actifs sous terrains, la base de données KLEMS-E fait appel à la valeur des actifs sous terrains et de la valeur de la rente de la ressource tous deux développés par les comptes de la statistique environnementale de Statistique Canada. La rente de la ressource est la valeur des services du capital fournis par l'actif naturel. Elle est calculée comme la valeur unitaire de la production de la ressource naturelle (par exemple le pétrole et le gaz) net de la valeur du coût unitaire (qui inclut les coûts des intrants primaires et intermédiaires). La rente de la ressource à chaque période est alors escomptée pour dériver la valeur présente nette de l'actif naturel.

La méthodologie utilisée dans les comptes canadiens de la productivité pour construire l'intrant capital a été modifiée de façon expérimentale pour prendre en compte le capital naturel dans le domaine de définition de l'intrant capital. Nous avons utilisé les estimations du stock de capital en prix courants pour vingt deux actifs produits et deux actifs non produits, les terrains et le stock de réserves naturelles, ainsi que leur coût d'usage respectif.

Les estimations de l'intrant capital élargi sont ajustées aux variations de composition. Cet ajustement requière des données sur le prix de location de ces vingt quatre catégories d'actifs. Comme ce prix de location ne peut être observé de façon directe, nous l'avons estimé implicitement sur la base de l'information disponible sur la rémunération du capital, la valeur du stock de capital des actifs, les gains de capital, les paramètres fiscaux tels la taxe sur le revenu des sociétés et les taxes sur les crédits aux investissement, le taux de dépréciation du stock de capital produit et le taux d'épuisement du stock de capital naturel. Le taux de rendement interne, calculé de façon résiduelle, assure la cohérence entre la rémunération du capital et le coût du capital des actifs produits et non produits. Pour la période de 1981 à 1996, l'effet du changement de la composition du capital total, mesuré comme la différence entre le taux de croissance de l'intrant capital et celui du stock de capital total, a augmenté au taux moyen de 1,1 %.

La base de données KLEMS-E fournit également les heures travaillées selon la branche d'activité. Les données d'enquêtes ménages ont été utilisées pour ventiler le nombre d'heures travaillées selon la catégorie de travailleurs définie à l'aide de variables démographiques tels que le sexe, l'âge et le niveau de scolarité. En postulant que les travailleurs sont rémunérés proportionnellement à la valeur de leur produit marginal, Gu *et coll.* (2002) ont calculé l'intrant travail comme la somme pondérée du nombre d'heures travaillées par les diverses catégories de travailleurs, où les poids sont définis par les taux de salaires relatifs. Pour le secteur des entreprises dans son ensemble, de 1981 à 1996, la croissance annuelle moyenne du facteur travail a été de 2,1 %; le nombre d'heures travaillées a augmenté au taux moyen de 1,3 % par année et la composition du travail a augmenté, en moyenne, de 0,8 %.

B) L'analyse de la tendance des données

Nous présentons certaines statistiques descriptives sur les coûts et les prix pour les 37 branches d'activité couvertes par nos données. Au tableau 2, nous donnons le niveau moyen du coût total et le taux moyen de croissance annuelle de la production réelle et des émissions de gaz à effet de serre, les prix réels des produits et les parts des coûts pour la période allant de 1981 à 1996 pour les 37 branches d'activité.

Comme le montrent clairement les statistiques descriptives, la taille des branches d'activité, mesurées d'après le coût total ou d'après la production nominale brute, varie considérablement. Les branches du commerce, de la construction, du matériel de transport, de l'alimentation et du transport comptent parmi les plus importantes du secteur des entreprises décrites dans le présent article. D'autres, comme celles des mines, du tabac, du meuble et des articles d'ameublement, et du cuir et des produits connexes sont assez petites.

Tableau 2 – Statistiques descriptives (1981-1996)

Branche d'activité	C	ω_K	ω_L	ω_M	$\dot{K}$	$\dot{L}$	$\dot{M}$	$\dot{Y}$	$\dot{B}$	$\dot{w}_K$	$\dot{w}_L$	$\dot{w}_M$
Agriculture et services agricoles	27,5	0,171	0,226	0,548	-4,05	-0,48	2,07	2,22	-0,26	4,76	4,54	2,04
Pêche et piégeage	1,6	0,347	0,244	0,331	-2,75	0,73	4,76	0,66	0,49	4,82	8,52	3,19
Exploitation forestière et services forestiers	8,1	0,137	0,319	0,511	-3,49	-0,28	4,87	2,87	5,83	14,58	4,47	3,08
Mines	11,7	0,356	0,256	0,318	-2,13	-2,10	1,17	1,41	-0,53	3,56	4,37	2,35
Pétrole brut et gaz naturel	22,5	0,674	0,092	0,212	0,11	1,21	8,08	3,89	4,26	0,76	6,01	2,86
Carrières et sablières	1,1	0,268	0,280	0,379	0,09	0,01	2,07	2,12	2,47	5,36	5,49	2,80
Services miniers	4,3	0,170	0,353	0,423	0,50	1,62	1,74	0,89	-3,38	-1,35	4,35	2,58
Aliments	38,4	0,117	0,151	0,718	1,15	-0,16	1,28	1,13	0,38	5,99	4,20	2,08
Boissons	5,8	0,259	0,208	0,520	-0,91	-2,33	1,13	0,41	-2,85	6,41	5,55	3,00
Tabac	1,9	0,294	0,150	0,552	-1,36	-5,08	-0,47	-1,64	-1,96	11,89	7,92	3,90
Produits en caoutchouc	3,1	0,090	0,323	0,568	0,86	-0,55	2,58	3,42	-1,20	12,57	4,87	2,40
Produits en matière plastique	5,5	0,139	0,237	0,603	4,93	3,63	5,46	5,24	2,84	5,49	4,80	2,12
Cuir et produits connexes	1,2	0,101	0,317	0,573	-1,35	-5,72	-4,63	-4,81	-4,06	-3,85	4,27	3,13
Textiles de première transformation	3,0	0,144	0,240	0,588	-0,38	-3,45	-0,10	0,35	-1,97	5,38	5,18	1,49
Produits textiles	3,0	0,108	0,256	0,618	-0,09	-1,28	0,68	0,26	5,45	2,50	4,63	2,05
Habillement	6,1	0,116	0,315	0,563	1,53	-2,22	-0,18	-0,25	-2,04	3,37	3,77	2,21
Bois	15,0	0,087	0,264	0,625	0,98	0,76	3,71	3,30	3,96	14,08	4,07	3,71
Meuble et articles d'ameublement	4,0	0,112	0,319	0,557	1,74	0,75	1,95	1,74	2,92	5,21	3,62	3,18
Papier et produits connexes	22,6	0,130	0,224	0,572	3,73	-1,43	2,46	1,84	-0,17	3,16	5,43	2,66
Imprimerie, édition et industries connexes	11,7	0,15	0,358	0,459	3,80	1,25	1,78	0,64	3,15	2,79	4,53	3,65
Première transformation des métaux	23,3	0,073	0,209	0,642	0,21	-2,76	2,17	2,06	-0,61	6,15	5,73	1,74
Fabrication des produits métalliques	16,5	0,118	0,291	0,578	-0,86	0,30	0,80	0,93	2,17	5,51	4,14	2,38
Machinerie	9,9	0,138	0,292	0,560	1,59	0,14	2,12	1,57	0,35	3,88	4,42	2,90
Matériel de transport	53,1	0,080	0,175	0,738	2,33	1,20	6,28	6,00	2,00	13,90	5,30	3,04
Produits électriques et électroniques	18,9	0,126	0,259	0,606	3,03	-1,26	8,93	6,94	-2,26	1,03	5,05	0,17
Produits minéraux non métalliques	6,6	0,168	0,267	0,504	-3,23	-1,24	0,55	0,13	0,62	9,16	4,04	2,63
Produits raffinés du pétrole et du charbon	18,5	0,025	0,047	0,899	-1,98	-4,40	-0,31	-0,04	1,49	8,98	5,07	0,25
Industries chimiques	22,2	0,199	0,163	0,575	1,14	-0,27	1,37	2,21	0,51	7,90	4,97	2,37
Autres industries manufacturières	6,7	0,131	0,284	0,576	3,81	0,42	0,98	1,29	0,07	3,25	4,18	1,91
Construction	83,0	0,088	0,328	0,571	2,97	0,34	0,45	0,08	-0,43	-2,70	2,91	2,92
Transport	38,6	0,139	0,363	0,390	1,78	0,34	2,84	2,51	2,49	3,44	3,64	2,88
Transport par pipelines	3,1	0,689	0,121	0,122	3,37	0,91	6,21	5,64	8,92	3,45	6,09	2,75
Entreposage et emmagasinage	1,2	0,207	0,460	0,295	0,51	1,04	2,55	1,60	1,83	1,16	4,06	3,34
Communications	22,3	0,344	0,384	0,262	2,99	1,22	6,66	4,93	6,60	3,73	3,69	2,88
Autres services publics	23,2	0,596	0,197	0,131	2,40	1,40	7,76	2,68	2,22	5,24	4,49	2,26
Commerce de gros	41,7	0,184	0,491	0,293	4,16	1,73	5,96	4,86	2,64	2,51	4,80	3,18
Commerce de détail	48,5	0,132	0,546	0,285	3,65	1,31	4,20	2,60	1,18	0,32	3,57	3,40
Secteur des entreprises	**635,2**	**0,201**	**0,270**	**0,494**	**1,673**	**0,122**	**3,319**	**2,499**	**1,9**	**4,329**	**4,394**	**2,606**

C = coût total moyen (millions de dollars); ω_K = part de la rémunération du capital; ω_L = part de la rémunération du travail; ω_M = part des achats d'intrants intermédiaires; $\dot{Y}$ = taux annuel moyen de croissance de la production brute; $\dot{K}$ = taux annuel moyen de croissance des services du capital; $\dot{L}$ = taux annuel moyen de croissance du nombre d'heures travaillées, corrigé pour la composition de la main-d'œuvre; $\dot{M}$ = taux annuel moyen de croissance des intrants intermédiaires; $\dot{w}_i$ = taux annuel moyen de croissance du prix du facteur de production i (capital, travail et intrants intermédiaires). L'indice en chaîne de Fisher, où les pondérations sont définies en termes de coût, a été utilisé pour construire les estimations du secteur des entreprises.

En outre, les parts du coût des intrants varient considérablement parmi les 37 branches d'activité. Par exemple, la part de la rémunération du travail varie d'un creux d'environ 0,09 pour la branche du pétrole brut et du gaz naturel à un sommet de 0,55 pour celle du commerce de détail. La part de la rémunération du capital dans le coût total, elle aussi, varie fortement selon la branche d'activité, variant de 0,09 pour la construction à 0,67 pour le pétrole brut et le gaz naturel. En général, à quelques exceptions près (notamment les mines, le pétrole brut et le gaz naturel, la pêche et le piégeage, les industries chimiques, le transport par pipelines, les autres services publics, les boissons et le tabac), la part de la rémunération du capital est inférieure à celle du travail. Les intrants intermédiaires, quant à eux, affichent la part la plus importante du coût total pour presque toutes les branches d'activité, variant de 0,12 pour le transport par pipelines à 0,90 pour les produits raffinés du pétrole et du charbon.

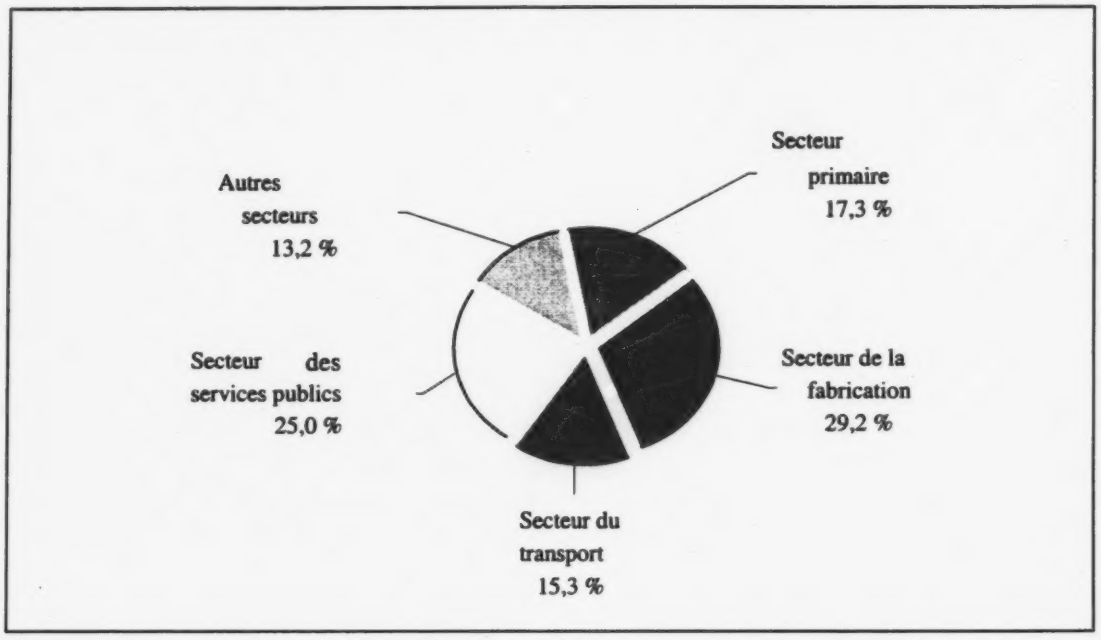
La production a augmenté au taux de 2,5 % durant la période 1981-1996. Les taux de croissance de la production et des intrants présentés au tableau 1 varient aussi selon la branche d'activité de 1981 à 1996. La croissance de la production des branches du cuir et des produits connexes, du tabac, de l'habillement et des produits raffinés du pétrole a été négative, tandis que celle des services miniers, de la pêche et du piégeage, des textiles de première transformation, des produits textiles, de l'imprimerie, de l'édition et des industries connexes, par exemple, a été modeste. Plusieurs branches d'activité ont connu un taux de croissance variant de 1 % à plus de 2,5 %. Par contre, certaines branches des secteurs de la fabrication et des services affichent une augmentation impressionnante de la production, le taux de croissance variant de 3,4 % pour les produits en caoutchouc à 6,9 % pour les produits électriques et électroniques. La diversité dans le comportement de la croissance de la production et des intrants entre les branches d'activité donne à penser que bon nombre d'entre-elles ont affiché différents changements dans la combinaison des intrants et de la production et de la croissance de la productivité. Nous observons des comportement similaires de croissance négative, faible ou rapide pour le travail, le capital et les intrants intermédiaires. À quelques exceptions près, les taux de croissance des prix des produits et des intrants étaient tous positifs, mais variaient considérablement selon la branche d'activité.

De 1981 à 1996, l'émission de gaz à effet de serre par le secteur des entreprises a augmenté au taux annuel moyen de 1,9 %, alors que la production a augmenté au taux de 2,5 %. Durant cette période, les branches des ressources de première transformation, de la fabrication, des services publics et du transport étaient les producteurs les plus importants de gaz à effet de serre. En 1996, la production de gaz à effet de serre par ces quatre secteurs représentait 86,8 % du total des émissions du secteur des entreprises, c'est-à-dire la même proportion qu'en 1981 (figure 1).

Le taux de croissance annuel des émissions de gaz à effet de serre de 1981 à 1996 varie fortement selon la branche d'activité. Durant cette période, environ 30 % des branches d'activité ont réduit leurs émissions. Il s'agit principalement des branches du secteur de la fabrication, comme celles des boissons et de l'habillement, mais aussi des industries primaires, comme l'agriculture, l'exploitation minière et les services miniers, dont la part dans le secteur primaire est raisonnablement élevée. La croissance des émissions a été rapide pour des branches d'activité comme celles du pétrole brut et du gaz naturel, des services publics, du transport et des produits raffinés du pétrole et du charbon. Cependant, pour la majorité des branches d'activité, le ratio des

biens commercialisables aux gaz à effet de serre a augmenté rapidement, ce qui témoigne d'une forme d'augmentation de l'efficacité.

Figure 1. Emissions de dyoxide de carbone des entreprises canadiennes, 1996



La variation importante de la croissance des émissions de gaz à effet de serre et de la structure des coûts selon la branche d'activité de 1981 à 1996 fournit un riche ensemble de données qui permet de vérifier économétriquement l'effet de diverses variables sur la croissance de la production et de la productivité. La diversité des situations observées ici implique que la réponse des branches d'activité à l'évolution de variables telles que l'émission de gaz à effet de serre ou la production doit être fortement variée. Par conséquent, nous nous attendons à ce que l'élasticité des coûts, le prix fictif des émissions de gaz à effet de serre et le taux de croissance de la productivité multifactorielle calculés au moyen des paramètres estimés de notre modèle économétrique varient d'une branche d'activité à l'autre. Ces variations entre branches d'activité justifient l'utilisation d'une spécification du modèle qui saisit les particularités des branches d'activité.

3. Estimation

Nous avons procédé à l'estimation pour 37 branches d'activité du secteur canadien des entreprises de 1981 à 1996. Ces branches d'activité couvrent le secteur minier, le secteur manufacturier, le secteur des services non financiers et celui des services publics. En plus des estimations calculées pour les 37 branches d'activité énumérées au tableau 1, nous avons produit une estimation pour ces secteurs dans leur ensemble par agrégation des données obtenues pour les branches d'activité individuelles au moyen d'indices de Fisher.

Le système d'équations utilisé pour estimer les paramètres que requiert le cadre de mesures comprend la fonction de coût (5) et les équations des parts des coûts pour $i = K, L$ et E données par (6). La part des coûts pour les intrants intermédiaires est déterminée par différence, étant donné que la somme des parts des coûts doit être égale à 1. Nous avons regroupé des données transversales chronologiques sur 37 branches d'activité à deux chiffres du secteur canadien des entreprises pour 1981 à 1996 en vue d'estimer le modèle. L'estimation de ce dernier en tant que système combinée donne non seulement une plus grande souplesse (degrés de liberté supplémentaires), mais oblige aussi à imposer des restrictions couvrant toutes les équations afin d'obtenir un modèle de structure des coûts entièrement intégré, ce qui permet de produire des estimations plus efficaces. Nous avons appliqué des méthodes de régressions apparemment non liées, puisque les équations ont des paramètres communs.

Au lieu d'une méthode à variables instrumentales, nous avons résolu le système d'équations par une méthode de régressions non linéaires apparemment non liées qui est souvent utilisée pour tenir compte de l'endogénéité éventuelle de la production ou des erreurs sur les variables. Cependant, indirectement, nous avons fini par utiliser la méthode des variables instrumentales. Cette dernière s'appuie habituellement sur des variables exogènes retardées. Notre correction pour les erreurs autorégressives de premier ordre s'appuie sur les valeurs retardées des variables exogènes utilisées comme instruments. Par conséquent, la correction pour l'autocorrélation des résidus se fonde implicitement sur la méthode des variables instrumentales.

Nous avons procédé à des adaptations pour tenir compte de sources inconnues éventuelles d'hétérosédasticité. La modification des équations de demande des intrants par des mesures d'entrées-sorties pour réduire les variations d'échelle et de période de référence d'une branche d'activité à l'autre n'a pas eu d'effet important sur les estimations. Les résultats présentés plus loin sont fondés sur le système non modifié et sur l'utilisation de la matrice des covariances respectant les contraintes d'hétérosédasticité de White pour calculer les erreurs-types.

Des tests de Durbin-Watson ont montré que les équations de coût et de demande des intrants contenaient des erreurs autocorrélées. Par conséquent, nous avons intégré la variable dépendante décalée dans l'équation de coûts, ce qui a produit la forme $G_t = \alpha + \beta X_t + \rho G_{t-1} + u_t$ qui, à son tour, donne lieu, après les substitutions appropriées, à la forme suivante $G_t = \alpha(1+\rho) + \beta(X_t + \rho X_{t-1}) + (u_t + \rho u_t)$ où X_t représente le vecteur des variables du deuxième membre de (5), α et β représentent les paramètres correspondants et ρ est le coefficient d'autocorrélation.

IV. Résultats empiriques

Les paramètres estimés et leurs écarts-types ainsi que les paramètres estimés des variables binaires de branches d'activité sont présentés au tableau 3. Bien que l'interprétation des paramètres individuels d'un modèle aussi complexe soit limitée, la signification statistique globale des paramètres est appréciable. La plupart des variables binaires de branches d'activité sont significatives, de même que l'estimation de ρ. Les valeurs de R^2 présentées au tableau 3,

qui sont toutes supérieures à 0,95, indiquent un pouvoir explicatif relativement élevé des équations estimées. Les résultats indiquent aussi que le modèle est bien spécifié. Le carré du coefficient de corrélation entre les valeurs réelle et attendue est élevé et l'écart-type de chaque équation est faible. En outre, toutes les conditions requises de régularité sont satisfaites en tout point de l'échantillon. Les coefficients du modèle sont statistiquement significatifs et leur signe est conforme aux attentes.

1. Spécifications et vérification d'hypothèses

Les résultats des tests d'hypothèses par le logarithme du ratio de vraisemblance sont présentés au tableau 4. Ces résultats mènent au rejet catégorique de l'hypothèse commune de la nullité des coefficients des variables binaires des branches d'activité (première ligne), indiquant qu'il existe des écarts importants entre les structures de coût des branches d'activité étudiées. L'hypothèse selon laquelle les coefficients de la variable de sous-produits nocifs sont nuls dans la fonction de coût total (5) est rejetée catégoriquement (deuxième ligne). En outre, l'hypothèse que la fonction de coût est homogène de degré 1 dans les prix des intrants n'est pas rejetée.

De la même façon, nous avons vérifié séparément les hypothèses selon lesquelles les industries ne produisent pas de sous-produits $\varepsilon_{GB} = 0$, aucun progrès technique ne domine, $\varepsilon_{Gt} = 0$ et que le rendement d'échelle globales des branches d'activité est constant $\varepsilon_{GY} + \varepsilon_{GB} = 1$. Dans chaque cas, le test consiste à obtenir un vecteur de paramètres estimatifs $\tilde{\Theta}$ à partir du système à quatre équations (5)-(6) et des contraintes supplémentaires qui doivent être vérifiées. Si $\hat{\Theta}$ est le vecteur des paramètres estimatifs sans contrainte, alors la forme quadratique

$$M = \left(\hat{\Theta} - \tilde{\Theta}\right)' \left\{Cov\left(\hat{\Theta}\right) - Cov\left(\tilde{\Theta}\right)\right\}^{-1} \left(\hat{\Theta} - \tilde{\Theta}\right).$$

correspond asymptotiquement au chi carré, le nombre de degrés de liberté étant égal au nombre de paramètres de la contrainte imposée. Les deux premières hypothèses ont été rejetées l'une et l'autre, mais celle des économies d'échelle globales constantes ne l'a pas été ($M = 210 > \chi^2_{95;.001} = 134$; $M = 157 > \chi^2_{95;.001} = 134$, $M = 108 > \chi^2_{95;.001} = 114$ respectivement).

Tableau 3. Estimations des paramètres de la structure de coût (période échantionnale 1981 à 1996)

Paramètre	Estimation	Erreur-type	Paramètre	Estimation	Erreur-type
B_0	1,79844	2,22285	$a_{K,14}$	-0,30771	0,241422
$a_{0,1}$			$a_{K,15}$	-0,3605	0,204562
$a_{0,2}$	1,68764	1,71969	$a_{K,16}$	-0,35499	0,200541
$a_{0,3}$	1,19111	1,63142	$a_{K,17}$	-0,39906	0,1789
$a_{0,4}$	-0,03073	1,65079	$a_{K,18}$	-0,14448	0,197741
$a_{0,5}$	4,09267	1,66929	$a_{K,19}$	-0,13982	0,182936
$a_{0,6}$	1,94153	1,59738	$a_{K,20}$	6,46E-04	0,184312
$a_{0,7}$	0,942586	1,69085	$a_{K,21}$	-0,38251	0,200502
$a_{0,8}$	1,76937	2,4728	$a_{K,22}$	-0,23782	0,196125
$a_{0,9}$	1,22212	2,12094	$a_{K,23}$	-0,28218	0,185983
$a_{0,10}$	1,29155	1,73653	$a_{K,24}$	-0,48356	0,183295
$a_{0,11}$	2,6929	1,69556	$a_{K,25}$	-0,18819	0,218136
$a_{0,12}$	2,06508	1,58799	$a_{K,26}$	-0,17009	0,178373
$a_{0,13}$	-1,38548	1,7953	$a_{K,27}$	-0,20937	0,188203
$a_{0,14}$	1,75288	1,92197	$a_{K,28}$	-0,48084	0,236293
$a_{0,15}$	1,52073	1,62896	$a_{K,29}$	-0,27161	0,177563
$a_{0,16}$	2,22914	1,77913	$a_{K,30}$	-0,23059	0,183778
$a_{0,17}$	1,1383	1,62589	$a_{K,31}$	-0,60302	0,282178
$a_{0,18}$	0,976801	1,62156	$a_{K,32}$	0,129868	0,201813
$a_{0,19}$	0,183455	1,63877	$a_{K,33}$	1,24E-03	0,223328
$a_{0,20}$	1,08851	1,7916	$a_{K,34}$	-0,55209	0,229791
$a_{0,21}$	1,93164	1,77657	$a_{K,35}$	0,068963	0,478113
$a_{0,22}$	1,70117	1,67682	$a_{K,36}$	-0,44587	0,213077
$a_{0,23}$	0,8495	1,64661	$a_{K,37}$	-0,40323	0,193961
$a_{0,24}$	3,27164	1,63606			
$a_{0,25}$	2,26088	1,6426	β_L	0,36534	0,238352
$a_{0,26}$	-0,03795	1,69182	$a_{L,1}$		
$a_{0,27}$	1,76675	2,14642	$a_{L,2}$	0,37586	0,238447
$a_{0,28}$	2,74055	1,92493	$a_{L,3}$	0,847295	0,281046
$a_{0,29}$	1,02683	1,60697	$a_{L,4}$	-0,06589	0,324054
$a_{0,30}$	0,68629	1,67595	$a_{L,5}$	-0,19844	0,287238
$a_{0,31}$	3,23662	1,71144	$a_{L,6}$	-0,06644	0,266611
$a_{0,32}$	4,97099	1,73975	$a_{L,7}$	-0,06163	0,279595
$a_{0,33}$	1,41906	1,87904	$a_{L,8}$	0,219847	0,392814
$a_{0,34}$	4,92566	1,62951	$a_{L,9}$	0,377695	0,275679
$a_{0,35}$	-0,1748	2,31137	$a_{L,10}$	0,419143	0,256785
$a_{0,36}$	2,57108	1,65373	$a_{L,11}$	0,165805	0,269847
$a_{0,37}$	2,68888	1,66999	$a_{L,12}$	0,254067	0,280473
			$a_{L,13}$	0,323133	0,291701
β_K	-0,13792	0,188758	$a_{L,14}$	-0,09217	0,243175
$a_{K,1}$			$a_{L,15}$	0,033168	0,254252
$a_{K,2}$	-0,48223	0,175482	$a_{L,16}$	0,182877	0,332996
$a_{K,3}$	-0,21681	0,172512	$a_{L,17}$	0,116462	0,309667
$a_{K,4}$	-0,29212	0,178739	$a_{L,18}$	0,152661	0,27601
$a_{K,5}$	0,524024	0,189992	$a_{L,19}$	-0,40298	0,257467
$a_{K,6}$	-0,1806	0,168562	$a_{L,20}$	0,10033	0,290089
$a_{K,7}$	-0,29378	0,194858	$a_{L,21}$	-0,05878	0,246533
$a_{K,8}$	-0,3274	0,463629	$a_{L,22}$	0,012101	0,266959
$a_{K,9}$	0,013891	0,225846	$a_{L,23}$	0,238059	0,251279
$a_{K,10}$	-0,57332	0,201513	$a_{L,24}$	0,211646	0,285517
$a_{K,11}$	-0,34389	0,184712	$a_{L,25}$	0,232119	0,271288
$a_{K,12}$	-0,23037	0,196765	$a_{L,26}$	-0,01764	0,270478
$a_{K,13}$	-0,03914	0,2488	$a_{L,27}$	-0,04786	0,239775

Tableau 3. Estimations des paramètres de la structure de coût (période échantionnale 1981 à 1996) (suite)

Paramètre	Estimation	Erreur-type	Paramètre	Estimation	Erreur-type
$a_{L,28}$	-0,14453	0,318454	$a_{Y,4}$	-0,42131	0,225944
$a_{L,29}$	0,206469	0,266481	$a_{Y,5}$	0,577569	0,215312
$a_{L,30}$	0,170548	0,277321	$a_{Y,6}$	-0,08828	0,188994
$a_{L,31}$	0,067362	0,365111	$a_{Y,7}$	0,071283	0,191973
$a_{L,32}$	0,378274	0,265955	$a_{Y,8}$	-0,01039	0,313918
$a_{L,33}$	0,154204	0,282896	$a_{Y,9}$	-0,2338	0,270028
$a_{L,34}$	0,549666	0,361923	$a_{Y,10}$	0,325122	0,2155
$a_{L,35}$	0,516156	0,406778	$a_{Y,11}$	-0,23438	0,189483
$a_{L,36}$	-0,50552	0,439498	$a_{Y,12}$	-0,19271	0,197137
$a_{L,37}$	0,54435	0,363137	$a_{Y,13}$	0,336623	0,245626
			$a_{Y,14}$	-0,04012	0,206837
β_E	0,076285	0,018176	$a_{Y,15}$	0,041399	0,209288
$a_{E,1}$			$a_{Y,16}$	-0,14175	0,23685
$a_{E,2}$	0,021359	7,72E-03	$a_{Y,17}$	-0,02258	0,21998
$a_{E,3}$	-0,01286	7,45E-03	$a_{Y,18}$	-0,05748	0,201745
$a_{E,4}$	0,01528	7,57E-03	$a_{Y,19}$	0,212148	0,203255
$a_{E,5}$	-0,03556	7,67E-03	$a_{Y,20}$	-0,2662	0,302603
$a_{E,6}$	0,026359	7,53E-03	$a_{Y,21}$	-0,03067	0,202297
$a_{E,7}$	-0,01064	7,80E-03	$a_{Y,22}$	-0,1445	0,214563
$a_{E,8}$	-0,04435	7,63E-03	$a_{Y,23}$	0,034422	0,187276
$a_{E,9}$	-0,0402	7,52E-03	$a_{Y,24}$	-0,21407	0,208113
$a_{E,10}$	-0,04314	7,86E-03	$a_{Y,25}$	-0,33133	0,21013
$a_{E,11}$	-0,03571	7,69E-03	$a_{Y,26}$	0,181484	0,209717
$a_{E,12}$	-0,03449	8,01E-03	$a_{Y,27}$	-0,11886	0,375543
$a_{E,13}$	-0,05312	7,73E-03	$a_{Y,28}$	0,033681	0,236817
$a_{E,14}$	-0,03205	7,56E-03	$a_{Y,29}$	0,06145	0,210291
$a_{E,15}$	-0,04082	7,56E-03	$a_{Y,30}$	0,152294	0,211514
$a_{E,16}$	-0,05191	7,66E-03	$a_{Y,31}$	-0,02587	0,327246
$a_{E,17}$	-0,02588	7,86E-03	$a_{Y,32}$	-1,30088	0,250253
$a_{E,18}$	-0,04681	7,72E-03	$a_{Y,33}$	-0,28925	0,242029
$a_{E,19}$	0,013567	7,92E-03	$a_{Y,34}$	-0,5157	0,203595
$a_{E,20}$	-0,04913	7,90E-03	$a_{Y,35}$	-0,18175	0,28968
$a_{E,21}$	0,019871	7,65E-03	$a_{Y,36}$	9,02E-03	0,267514
$a_{E,22}$	-0,04401	7,52E-03	$a_{Y,37}$	-0,24469	0,232764
$a_{E,23}$	-0,05048	7,63E-03			
$a_{E,24}$	-0,04214	7,84E-03	β_B	-0,24357	0,349497
$a_{E,25}$	-0,05461	8,22E-03	$a_{B,1}$		
$a_{E,26}$	1,14E-03	7,47E-03	$a_{B,2}$	0,22919	0,091914
$a_{E,27}$	-0,02463	7,68E-03	$a_{B,3}$	-0,04362	0,082894
$a_{E,28}$	9,53E-03	7,74E-03	$a_{B,4}$	0,71505	0,156504
$a_{E,29}$	-0,04953	7,84E-03	$a_{B,5}$	-1,92779	0,126386
$a_{E,30}$	-0,04157	7,86E-03	$a_{B,6}$	-0,12439	0,081974
$a_{E,31}$	0,0548	7,81E-03	$a_{B,7}$	0,031471	0,089945
$a_{E,32}$	-6,36E-03	8,42E-03	$a_{B,8}$	-0,0389	0,150138
$a_{E,33}$	-0,0176	7,68E-03	$a_{B,9}$	-0,03232	0,13163
$a_{E,34}$	-0,03765	8,00E-03	$a_{B,10}$	-0,02241	0,099737
$a_{E,35}$	0,017356	8,12E-03	$a_{B,11}$	-1,41E-03	0,089924
$a_{E,36}$	-0,01819	7,93E-03	$a_{B,12}$	-0,01937	0,109947
$a_{E,37}$	-0,01638	7,87E-03	$a_{B,13}$	5,48E-03	0,106752
			$a_{B,14}$	-0,02948	0,087042
β_Y	-1,9234	0,698464	$a_{B,15}$	-1,73E-03	0,086581
$a_{Y,1}$			$a_{B,16}$	0,021641	0,098459
$a_{Y,2}$	-0,1233	0,202763	$a_{B,17}$	0,168601	0,101881
$a_{Y,3}$	-2,61E-03	0,203294	$a_{B,18}$	1,46E-03	0,092735

Tableau 3. Estimations des paramètres de la structure de coût (période échantionnale 1981 à 1996) (suite)

Paramètre	Estimation	Erreur-type	Paramètre	Estimation	Erreur-type
$a_{B,19}$	-0,10597	0,111986	β_t	0,042821	0,017031
$a_{B,20}$	0,040838	0,140766	β_{KK}	-0,02496	7,10E-03
$a_{B,21}$	9,37E-03	0,172539	β_{LL}	0,033634	3,96E-03
$a_{B,22}$	0,018946	0,11355	β_{EE}	0,018073	1,26E-03
$a_{B,23}$	0,070726	0,107867	β_{YY}	0,233183	0,087873
$a_{B,24}$	2,92E-03	0,131835	β_{BB}	6,74E-03	0,032173
$a_{B,25}$	0,023261	0,090364	β_{tt}	-2,94E-04	1,46E-04
$a_{B,26}$	0,015604	0,15398			
$a_{B,27}$	-0,05369	0,141198	β_{EK}	6,24E-03	2,71E-03
$a_{B,28}$	-0,1261	0,152542	β_{EL}	-7,68E-03	3,13E-03
$a_{B,29}$	-9,45E-03	0,085635	β_{EY}	-0,0164	2,88E-03
$a_{B,30}$	-0,07449	0,128129	β_{EB}	4,47E-03	1,39E-03
$a_{B,31}$	-0,0695	0,235423	β_{ET}	1,58E-04	2,23E-04
$a_{B,32}$	0,106971	0,103081	β_{KL}	0,031343	6,91E-03
$a_{B,33}$	-0,02328	0,084992	β_{KY}	0,162921	0,014872
$a_{B,34}$	0,016713	0,095885	β_{KB}	-0,01553	7,15E-03
$a_{B,35}$	0,156925	0,138511	β_{Kt}	-2,83E-03	1,24E-03
$a_{B,36}$	-0,11913	0,144599	β_{LY}	-0,11251	7,49E-03
$a_{B,37}$	0,071887	0,140659	β_{LB}	1,39E-03	3,61E-03
			β_{Lt}	-5,61E-04	5,91E-04
ρ	0,2096	0,040871	β_{YB}	0,036789	0,083814
ρ_E	0,810904	0,024865	β_{Yt}	-5,14E-03	4,77E-03
ρ_K	1,00025	4,02E-03	β_{Bt}	3,09E-03	2,99E-03
ρ_L	1,00166	1,46E-03			

Tableau 3. Estimations des paramètres de la structure de coût des branches d'activité (période échantionnale 1996 à 1998)

Équation	Erreur-type	R^2
Coût total	0,027976	0,98
Part du capital	0,025634	0,98
Part du travail	0,012446	0,99
Part de l'énergie	0,004354	0.98

Tableau 4. Tests d'hypothèses

Restriction des paramètres	Logarithme du rapport des vraisemblances	χ^2	Degrés de liberté
$\underline{\alpha}_{oh} = \underline{\alpha}_{Kh} = \underline{\alpha}_{Lh} = \underline{\alpha}_{Eh} = \underline{\alpha}_{Yh} = \underline{\alpha}_{Bh} = \underline{\alpha}_{th} = \underline{\alpha}_{t,J,h} = \underline{\alpha}_{t,Y,h} = \underline{\alpha}_{t,B,h} = \underline{\alpha}_{t,t,h} = 0$	1941	1239	407
$\underline{\alpha}_{B,h} = \underline{\alpha}_{t,B,h} = 0$	1863	712	64

Nota : Les valeurs critiques χ^2 pour 407 et pour 64 degrés de liberté sont 654 et 126, respectivement.

$\underline{\alpha}$ est le vecteur des paramètres nomiaux.

2. *Diverses questions d'estimation*

A) Corrélation fallacieuse

L'existence d'une tendance commune à diverses variables dans les modèles chronologiques de structure de la production pose un problème économétrique important. La critique s'applique tout aussi bien aux études de la fonction de production qu'à celle de la fonction de coût, que celles-ci incluent ou non des variables environnementales. Il est vrai que des variables telles que la production, le travail, les intrants intermédiaires et l'intrant capital total sont fortement corrélées au cours du temps et peuvent présenter une tendance commune. À cet égard, les variables environnementales ne présentent aucune particularité.

Un moyen d'éliminer une tendance commune consiste à estimer le modèle sous forme de différence première. On élimine ainsi toute influence éventuelle de la tendance. Pour l'estimation des équations (5) et (6) sous forme de « différence première », nous fixons à l'unité la valeur du paramètre de corrélation en série ρ. Les estimations des paramètres (non présentées ici, mais disponibles sur demande) montrent que les modèles sont bien ajustés aux données. Les signes et les grandeurs sont comparables à ceux obtenus lors de l'estimation des modèles sous forme de niveau. Ce résultat n'est pas étonnant, puisque les valeurs des coefficients de corrélation en série ρ présentées au tableau 3 sont proches de l'unité.

B) Question de la fixité du capital

Les diverses équations de coût et de demande élaborées plus haut sont caractérisées par les dérivés de premier et de deuxième ordre ou les élasticités de la fonction de coût par rapport aux arguments de $G(\cdot)$. Cependant, un écart des courbes de demande des intrants par rapport à celles représentées correctement par le lemme de Shephard compliquerait ou empêcherait l'estimation et l'interprétation de ces élasticités. Mais de tels écarts par rapport aux hypothèses standards de la théorie microéconomique fondamentale n'aient, en dernière analyse, pas été observés dans notre ensemble de données. Quoiqu'il en soit, nous avons procédé à une étude empirique d'autres modèles qui tiennent compte de ces difficultés éventuelles.

Le problème de cette sorte le plus courant est la quasi-fixité des intrants tels que le capital. Si l'ajustement complet jusqu'au niveau d'utilisation des intrants qui correspond aux conditions d'équilibre n'a pas lieu durant la période de référence qui caractérise les données, le lemme de Shephard ne représente pas adéquatement le comportement de la demande des intrants. Ce problème de rigidité est souvent contourné par intégration de l'intrant capital au lieu du prix de location de ce dernier dans la fonction $G(\cdot)$ si l'on a des raisons de croire que le capital présente des contraintes effectives de fixité. Cela implique une divergence par rapport à la demande dans les conditions d'équilibre (ou, de façon équivalente, les écarts par rapport à la pleine capacité) représenté par l'écart entre la valeur fictive du facteur de production $z_K = -\frac{\partial G}{\partial K}$ et son prix du marché w_K.

Nous pouvons aussi représenter la demande quantitative réelle/efficace d'un intrant par adaptation directe des *données* afin d'y intégrer les différences. Plus précisément, si nous utilisons le prix réel (ou fictif) du facteur z_K en tant qu'argument de $G(\cdot)$ plutôt qu'un prix du marché non corrigé, le lemme de Shephard demeure valide.

Bien que nous ayons construit minutieusement les données utilisées ici afin qu'elles reflètent les valeurs des flux de services des intrants, nous avons procédé à des tests de sensibilité pour déterminer si l'hypothèse de l'intrant variable était valide. Ces tests ont appuyé notre spécification empirique finale; les formes et niveaux appropriés des équations de demande résultantes semblent justifier l'hypothèse. En fait, lorsque le capital n'est pas spécifié comme étant une variable de choix, les résultats ne sont pas aussi justifiables que lorsque le lemme de Shephard est appliqué.

Les résultats empiriques fondés sur ces données donnent à penser que l'approche été effectué conformément à la théorie économique. L'usage du lemme de Shephard s'avère justifié, à la fois, par les estimations correctes (en termes des conditions de régularité requises) et intuitivement possibles du comportement de la demande. Et, lorsqu'on n'impose pas d'équation d'optimisation pour l'intrant K, les estimations de la forme de la structure de la production ne varient pour ainsi dire pas.

3. *Interprétation économique*

Les diverses élasticités des coûts calculées d'après les paramètres estimés pour l'échantillon complet de données sont présentées au tableau 5. Pour chaque mesure, les estimations correspondent aux moyennes pondérées sur l'ensemble des 37 branches d'activité et des périodes de référence. Les valeurs de la statistique t sont fondées sur le calcul des mesures déterminées pour les valeurs moyennes des données[3].

Les mesures visant à évaluer l'avantage marginal de l'utilisation de l'environnement pour le rejet des gaz à effet de serre est la valeur fictive s_B calculée par dérivation partielle de (5) en fonction de ℓnB. Au niveau agrégé, l'élasticité du coût des sous-produits nocifs $\varepsilon_{G,B}$ est égale à -0,14, ce qui signifie que la possibilité d'augmenter les émissions est économique pour le producteur. Le niveau de signification est supérieur à 2 %. La branche du pétrole et du gaz est celle pour laquelle l'élasticité des coûts par rapport aux émissions de gaz à effet de serre est la plus élevée, soit -1,91; elle est suivie, de loin, par la branche des produits chimiques pour laquelle cette élasticité est de -0,12.

[3] Pour ces données, les mesures ont été construites par la méthode delta (qui est essentiellement un test de Wald généralisé) au moyen de la commande ANALYZ de TSP.

Tableau 5. Estimations des élasticités (Valeurs moyennes, 1981 à 1996)

Branche d'activité	$\varepsilon_{G,B}$	$\varepsilon_{G,Y}$	$\varepsilon_{G,K}$	$\varepsilon_{G,L}$	$\varepsilon_{G,E}$	$\varepsilon_{G,t}$	$\varepsilon_{K,B}$	$\varepsilon_{L,B}$	$\varepsilon_{E,B}$	$\varepsilon_{Sb,t}$	*EEG*	*EG*
Agriculture et services agricoles	0,0137	0,9728 **	0,2752 **	-0,0281	0,0522 **	0,0036 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	0,2249	0,9865**	0,0004
Pêche et piégeage	0,2417 **	0,8147 **	-0,1995 *	0,3574 **	0,0658 **	0,0034 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	0,0128	1,0565**	0,0005
Exploitation forestière et services forestiers	-0,0229	1,0076 **	0,0713 *	0,7955 **	0,031 **	0,0043 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	-0,1349	0,9848**	0,0003
Mines	0,7207 **	0,5918 **	-0,0407	-0,0834	0,0689 **	0,0026 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	0,0043	1,3125**	0,0004
Pétrole brut et gaz naturel	-1,9087**	1,7075 **	0,796 **	-0,2272	0,02 **	0,003 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	-0,0016	-0,2012	0,0002
Carrières et sablières	-0,1144**	0,9567 **	0,0946 **	-0,0951	0,0738 **	0,0021 *	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	-0,027	0,8424**	0,0005
Services miniers	0,0241	1,0153 **	-0,0793	-0,0523	0,0449 **	0,0024 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	0,1283	1,0394**	0,0005
Aliments	-0,0334	1,0049 **	-0,0821	0,2132 **	0,0137 **	0,0027 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	-0,0926	0,9715**	0,0004
Boissons	-0,0308	0,7305 **	0,2614 **	0,3707 **	0,0133 **	0,0024 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	-0,1001	0,6997**	0,0006
Tabac	-0,0288	1,1418 **	-0,361 **	0,4484 **	0,0128 **	0,004 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	-0,1071	1,113 **	0,0006
Produits en caoutchouc	0,003	0,8123 **	-0,0866	0,1536 **	0,0209 **	0,0015	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	1,0156	0,8154**	0,0005
Produits en matière plastique	-0,003	1,0119 **	0,0502	0,2172 **	0,0222 **	0,0012	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	-1,034	1,009 **	0,0003
Cuir et produits connexes	-0,0056	1,1328 **	0,1504	0,347 **	0,0082 **	0,0044 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	-0,5559	1,1272**	0,0005
Textiles de première transformation	-0,0309	0,8598 **	-0,0647	-0,0833**	0,0273 **	0,0025 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	-0,1	0,8289**	0,0006
Produits textiles	0,0104	1,0568 **	-0,111 **	0,0197	0,0174 **	0,0039 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	0,2964	1,0672**	0,0003
Habillement	0,0224	0,838 **	-0,1145**	0,1736 *	0,0069 **	0,0024 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	0,1378	0,8604**	0,0005
Bois	0,1873 **	1,0624 **	-0,1146**	0,0598	0,0252 **	0,0024 **	-0,015 **	0,0014	0,0045 **	0,0165	1,2497**	0,0004
Meuble et articles d'ameublement	0,0089	0,9999 **	0,0904	0,1347 **	0,0121 **	0,0032 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	0,346	1,0089 *	0,0003
Papier et produits connexes	-0,1047	1,2892 **	0,1033	-0,4068**	0,0708 **	0,0012	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	-0,0295	1,1845**	0,0004
Imprimerie, édition et industries connexes	0,0483	0,8279 **	0,2317 **	0,0896	0,0085 **	0,003 **	-0,0155 *	0,0014	0,0045 **	0,064	0,8761**	0,0003
Première transformation des métaux	0,0133	0,9724 **	-0,1333 *	-0,0556 *	0,0725 **	0,0023 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	0,2324	0,9857**	0,0004
Fabrication des produits métalliques	0,0271	0,8283 **	0,005	-0,0003	0,0145 **	0,0039 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	0,1138	0,8554**	0,0003
Machinerie	0,0715 **	0,9794 **	-0,0616 *	0,2377 **	0,009 **	0,0037 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	0,0432	1,0509**	0,0004
Matériel de transport	0,0256	1,0025 **	-0,1787 *	0,1588 *	0,0088 **	0,0013	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	0,1208	1,028 **	0,0003
Produits électriques et électroniques	0,0346	0,8719 **	0,1093	0,2014 **	0,0007	-0,0008	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	0,0894	0,9065**	0,0005
Produits minéraux non métalliques	0,0236	1,1043 **	0,0772 **	-0,0339	0,0545 **	0,0043 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	0,1311	1,1279**	0,0004
Produits raffinés du pétrole et du charbon	-0,0528	0,7688 **	0,015	-0,0184	0,0339 **	0,004 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	-0,0584	0,7159 **	0,0004
Industries chimiques	-0,1177**	1,1108 **	-0,2255 *	-0,1589**	0,0617 **	0,0022 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	-0,02o2	0,9931 **	0,0004
Autres industries manufacturières	-0,0075	1,103 **	-0,0378	0,2024 **	0,0103 **	0,0022 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	-0,41	1,0955 **	0,0004
Construction	-0,0753**	1,1911 **	-0,0062	0,1588 **	0,0115 **	0,0024 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	-0,041	1,1158 **	0,0004
Transport	-0,0599	1,061 **	-0,353 **	0,0417	0,103 **	0,0028 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	-0,0515	1,0011 **	0,0003
Transport par pipelines	0,1259	-0,1095	0,4059 **	0,3446 **	0,0475 **	0,0021	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	0,0245	0,0164	0,0002
Entreposage et emmagasinage	-0,0165	0,7713 **	0,2385 **	0,1322	0,0339 **	0,0031 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	-0,1875	0,7548 **	0,0003
Communications	0,0344 *	0,6909 **	-0,2756**	0,4994 **	0,0109 **	0,0019	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	0,0899	0,7253 **	0,0002
Autres services publics	0,168 **	0,9409 **	0,3237 *	0,4955 **	0,0623 **	0,0025 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	0,0184	1,1089 **	0,0004
Commerce de gros	-0,1052**	1,1828 **	-0,1674 *	-0,5448 *	0,0292 **	0,0013	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	-0,0294	1,0776 **	0,0003
Commerce de détail	0,0798**	0,8716**	-0,1516**	0,512**	0,0359**	0,002*	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	0,0387	0,9514**	0,0004
Total (37 branches d'activité)	-0,1386**	1,0222 **	0,0956 **	0,1065 **	0,0564 **	0,0023 **	-0,0155**	0,0014	0,0045 **	0,0281	0,9618 **	0,0003

Note: * et ** signifient statistiquement significatif à 5 et 10%, respectivement.

La valeur négative de l'estimation agrégée de $\varepsilon_{K,B}$ donne à penser que le capital a tendance à servir de « substitut » à la qualité de l'environnement, puisqu'un apport supplémentaire de capital est nécessaire pour réduire les émissions nocives. Les élasticités du travail et de l'énergie par rapport aux émissions sont, l'une et l'autre, positives, mais seule la valeur de la seconde est statistiquement significative. Par conséquent, l'énergie semble, d'une certaine façon, complémentaire de la réduction des émissions de gaz à effet de serre. La réduction des émissions implique une réduction de la consommation d'énergie

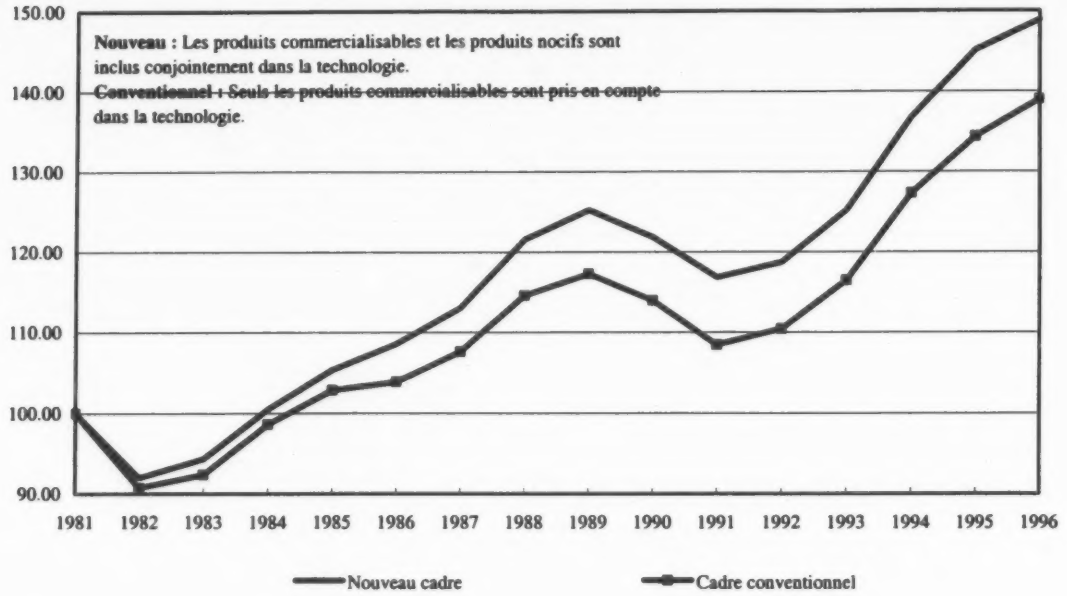
En ce qui concerne les produits, l'élasticité positive ($\varepsilon_{MC_Y,B} = 0{,}037$) sous-entend l'absence d'économies d'échelle ou de production liée de biens commercialisables et de sous-produits nocifs. Cependant, ce résultat n'est pas statistiquement significatif. Les valeurs fictives des émissions présentées au tableau 5 permettent de tirer certaines conclusions intéressantes. Les résultats indiquent que la valeur fictive des émissions augmentent au taux de 0,03 % en moyenne, lorsque l'on maintient toutes les autres variables constantes.

Il est également intéressant de comparer certaines estimations préliminaires des élasticités en fonction de la période de référence et de la branche d'activité. Nous présentons des mesures distinctes pour les périodes qui ont précédé et suivi les années 1990, pour repérer toute discontinuité éventuelle en ce qui concerne la sensibilisation des membres du public à la question des gaz à effet de serre ou les pressions institutionnelles à cet égard. Nous présentons aussi des mesures selon la branche d'activité. Les valeurs de $\varepsilon_{G,B}$ obtenues pour la période qui a précédé et pour celle qui a suivi les années 1990 auraient plutôt tendance à indiquer une légère réduction de la proportionnalité entre la réduction des coûts et l'élimination de B : $e_{G,B} = -0{,}1504; -0{,}1208$, respectivement.

L'estimation des taux de croissance de la productivité multifactorielle nécessite l'estimation des économies globales d'échelle, de la production agrégée des biens commercialisables et des sous-produits nocifs, et du progrès technique. Les élasticités de coût nécessaires sont tirées des estimations des paramètres de la fonction translogarithmique de coût mentionnée plus haut. La figure 4 présente les valeurs des indices de productivité multifactorielle de 1981 à 1996 pour les 37 branches d'activité visées par notre étude empirique. Les estimations utilisées à la figure 1 sont les moyennes pondérées sur l'ensemble des branches d'activité faisant partie de l'échantillon. Autrement dit, nous avons calculé l'indice de productivité multifactorielle pour chaque branche d'activité et présenté la moyenne pondérée de ces estimations à la figure 2. Le cadre conventionnel de calcul de la productivité multifactorielle, qui ne tient pas compte des sous-produits nocifs, sous-estime la croissance de la productivité de presque 0,5 points de pourcentage par année entre 1981 et 1996.[4]

[4] Sous l'hypothèse de rendements constants qui est cohérente avec le cadre de la comptabilisation de la croissance, l'exclusion des émissions de gaz à effet de serre mène à une sous-estimation de la croissance de la productivité de 0,13 points de pourcentage (voir Harchaoui et coll. 2002).

Figure 2. Taux composé de croissance de la productivité multifactorielle pour différents cadres d'évaluation de la production : secteur des entreprises



V. Remarques en guise de conclusion

Dans une large mesure, la protection de l'environnement est généralement perçue dans le débat public comme un fardeau en termes de coûts imposé l'économie, se traduisant par une réduction de l'innovation et la productivité. Cependant, la conclusion selon laquelle la protection de l'environnement généralement mène à une baisse de la croissance de la productivité est en fait un artifice de la façon dont la mesure de la productivité est mise en place — une méthodologie qui prend en compte seulement le coût de la protection de l'environnement mais qui ignore la production d'un environnement meilleur, en termes de réduction des émissions.

Durant bon nombre d'années, plusieurs études, affectées par ces problèmes méthodologiques, ont conclu qu'en général la protection de l'environnement mène à un déclin de la croissance de la productivité. Cependant, une approche récente dans la littérature économique dont fait partie la présente étude, reconnaît que certains produits sont valeureux une fois vendus et d'autres dommageables une fois produits (voir Murtough *et coll.* 2001 pour une revue de cette littérature). Quand le cadre de la productivité considère le processus industriel dans sa totalité, la protection environnementale n'est plus perçue comme une entrave à la croissance de la productivité.

La présente étude s'appuie sur un modèle détaillée de la structure de production dans le secteur canadien des entreprises pour mesurer les coûts privés que les producteurs ont subi pour réduire leurs émissions de gaz à effet de serre. Nos résultats indiquent que le coût privé fictif ou implicite des émissions est significatif, qu'il est le plus important pour le secteur du pétrole brut et du gaz naturel et qu'il augmente au cours du temps. Les entreprises ne choisissent pas la combinaison de

leurs intrants et la composition de leur production comme si l'environnement était gratuit et sans valeur. Autrement dit, les entreprises subissent, ou perçoivent, les coûts résultants des émissions de gaz à effet de serre, en sus des intrants qu'elles achètent. Ces coûts pourraient être le résultat des pressions exercées par les organismes réglementaires ou par l'opinion publique, ou de l'anticipation de futures pressions de ce genre.

Omettre de tenir compte des émissions de gaz à effet de serre mène à une sous estimation de la croissance de la productivité. Dans le cadre conventionnel de mesures de la productivité, les variations des coûts liés à la réduction des émissions sont interprétées comme des pertes de productivité. Nous avons calculé un indice de productivité multifactorielle qui inclut les émissions à titre d'intrant; cet indice croît à un taux annuel égal à un demi-point de pourcentage, en moyenne, à celui calculé par la méthode conventionnelle entre 1981 et 1996.

En conclusion, nous avons montré que la méthodologie utilisée dans cette étude a l'avantage majeur qu'elle est en mesure d'incorporer de façon relativement aisée les impacts environnementaux, pour lesquels nous ne disposons pas de prix, dans les estimations de la croissance de la productivité. Un désavantage est que la méthodologie est intensive en termes de données, qui plus est, techniquement ardue. L'estimation de la croissance de la productivité produite par cette approche expérimentale dépend du prix fictif des CO_2. Parce qu'elle découle de l'analyse statistique multivariée, il y a une incertitude inhérente quant à la précision de ce prix fictif. Nous devons reconnaître que les résultats issus de ces analyses font l'object d'une erreur. La taille de l'erreur dépendra de la nature des formes fonctionnelles utilisées, le type d'analyse économétrique employée et la précision des données utilisées.

Quoiqu'il en soit, l'approche utilisée dans cette étude peut fournir des percées utiles quant à la façon de quantifier l'impact des effets environnementaux de l'activité économique sur la croissance de la productivité. Il y a moyen d'élargir notre analyse pour incorporer d'autres sous-produits environnementaux nocifs. Cela requière, par exemple, la mesure et la prise en compte d'autres polluants.

Bibliographie

Cline, W.R. 1992. The Economics of Global Warming, Washington, DC.: Institute for International Economics.

Dachraoui, K. et T.M. Harchaoui. 2002. « Water Use, Shadow Prices and Canadian Business Sector Productivity Performance: An Efficiency Frontier Approach. » en cours, p. 34

Färe, R. S. et Grosskopf. 1998. « Shadow Pricing of Good and Bad Commodities. » *American Journal of Agricultural Economics* 80: 584-90.

Färe, R. et S. Grosskopf and S. Yaisawarng. 1993. « Derivation of Shadow Prices for Undesirable Outputs: A Distance Function Approach. » *Review of Economics and Statistics* 72: 374-80.

Gollop, F. et G. Swinand. 2001. « Total Resource Productivity: Accounting for Changing Environmental Quality. » in C. Hulten, E. Dean, M. Harper (eds.); New Directions in Productivity Analysis, Studies in Income and Wealth, Volume 63.

Gu,W., M. Kaci, J.P. Maynard et M-A. Sillamaa. 2002. « Changement de la composition de la population active canadienne et son influence sur la croissance de la *productivité.* » dans Baldwin, J.R. et T .M. Harchaoui: *Croissance de la productivité au Canada*, Statistique Canada, N°. 15-204-XPF au catalogue. À paraître.

Hailu, A. et T.S.Veeman. 2000. « Environmentally sensitive productivity analysis of the Canadian pulp and paper industry 1959-1994; an input distance function approach. » *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 40, pp. 251-274.

Harchaoui, T.M., Kabrelyan, D. et Smith, R. 2002 « Prise en compte des émissions de gaz à effet de serre dans le cadre conventionnel d'estimation de la productivité. » *Analyse Économique Documents de recherche N°. 7.* Ottawa, Statistique Canada.

Murtough, G., D. Appels, A. Martysek et C.AK. Knovell. 2001; « Greenhouse Gas Emissions and the Productivity Growth of Electricty Generators, Productivity. » Commission Staff Research Paper, AusInfo, Canberra.

Nordhaus, W.D. 1994. « Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change. » Cambridge: The MIT Press.

Panel on Policy Implications of Greenhouse Warming (1992); Policy Implications of Greenhouse Warming: Mitigation, Adaptation, and the Science Base, Washington, DC: National Academy Press.

Pittman, R.W. 1983, « Multilateral productivity comparisons with undesirable outputs. » *Economic Journal*, vol. 93, pp. 883–891.

Statistique Canada 1997. Éconnexions pour lier l'environnement et l'économie, concepts, sources et méthodes du Système des comptes de l'environnement et des ressources du Canada, Catalogue 16-505-GPF.

ANALYSE ÉCONOMIQUE
DOCUMENTS DE RECHERCHE

No.001 *Une comparaison de la croissance économique au Canada et aux États-Unis à l'âge de l'information 1981-2000 : L'importance de l'investissement dans les technologies de l'information et des communications,* ***Philip Armstrong, Tarek M. Harchaoui, Chris Jackson et Faouzi Tarkhani (1 mars 2002)***

No.002 *Parité de pouvoir d'achat : Le cas du Canada et des États-Unis,* ***Beiling Yan (mai 2002)***

No.003 *L'importance accrue des producteurs plus petits dans le secteur de la fabrication : Comparison Canada/Etats-Unis,* ***John Baldwin, Ron S. Jarmin et Jianmin Tang (mai 2002)***

No.004 *Statistiques sur le commerce des sociétés affiliées à l'étranger – 1999 : La livraison des biens et des services sur les marchés internationaux,* ***Colleen Cardillo (avril 2002)***

No.005 *Volatilité de l'emploi au niveau régional dans le secteur canadien de la fabrication : Les effets de la spécialisation et du commerce,* ***John R.Baldwin et W.Mark Brown*** *(à venir)*

No.006 *Antécédents de croissance, degré de concentration des connaissances et structure financière des petites entreprises,* ***Guy Gellatly, Allan Riding, Stewart Thornhill*** *(à venir)*

No.007 *Prise en compte des émissions de gaz à effet de serre dans le cadre conventionnel d'estimation de la productivité,* ***Tarek M. Harchaoui, Dmitry Kabrelyan, Rob Smith (November 1, 2002)***

No.008 *Vaincre les distances, vaincre les frontières : comparaison des échanges régionaux en Amérique du Nord,* ***W.Mark Brown*** *(à venir)*

No.009 *L'impact des émissions de gaz à effet de serre sur la croissance de la productivité au Canada, 1981-1996 : une approche expérimentale,* ***Tarek M. Harchaoui et Pierre Lasserre (November 1, 2002)***